



Анализ проектов закрепления грунтовых оснований при строительстве зданий образовательных учреждений в Ростовской области

А.Ю. Прокопов, Е.Ю. Евлахова, А.А. Михайлов, А.В. Иванова, М.С. Матвеев

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Выполнен анализ проектов закрепления грунтовых оснований, являющихся составными частями проектов нового строительства зданий образовательных учреждений в Ростовской области в 2016-18 гг. На примере строительства школ в гг. Ростове-на-Дону, Таганроге, Шахтах, Новочеркасске, Аксае и с. Чалтырь рассмотрены основные технические и технологические решения по закреплению грунтов, принимаемые в зависимости от инженерно-геологических условий площадок строительства.

Ключевые слова: цементация, инъектор, грунт, закрепление, фундамент, грунтовые сваи, подпорные стенки, осадка, просадка, деформация.

Правительством Ростовской области принята и в настоящее время реализуется Программа «Создание в Ростовской области новых мест в общеобразовательных организациях в соответствии с прогнозируемой потребностью и современными условиями обучения на 2016 – 2025 годы» (утверждена Постановлением Правительства Ростовской области от 31.12.2015 № 234). В рамках реализации указанной Программы предусмотрено как выполнение капитальных ремонтов и реконструкции действующих школ, так и строительство новых общеобразовательных учреждений, отвечающих современным санитарно-эпидемиологическим требованиям, строительным и противопожарным нормам и обеспечивающих возможность организации всех видов учебной деятельности в одну смену, безопасность и комфортность условий обучения.

Всего за период 2016 - 2025 гг. Программой предусмотрено проектирование и строительство 71 новой школы и 59 отдельных зданий блоков школ на 100 или 200 мест. Одновременно с этим будут постепенно выводиться из эксплуатации школы, построенные в середине прошлого века и ранее, имеющие значительный физический и моральный износ.

Строительство в Ростовской области зачастую ведется в сложных инженерно-геологических условиях, характеризующихся наличием просадочных грунтов I или II типа. Для обеспечения эксплуатационной надежности зданий и сооружений на таких грунтах, согласно действующим нормам, требуется разрабатывать и реализовывать проекты усиления (упрочнения, закрепления) грунтовых оснований [1 – 7].

Целью настоящей статьи является анализ проектных решений по закреплению грунтов и обеспечению устойчивости оснований, принятых при проектировании зданий новых школ в Ростовской области в 2016-18 гг. и прошедших государственную экспертизу. Для анализа приняты проекты 6 новых школ в гг. Ростове-на-Дону, Таганроге, Шахтах, Новочеркасске, Аксае и с. Чалтырь, строительство которых планируется или уже ведется в настоящее время (табл. 1).

Проектные решения по закреплению грунтов основания, описанные в табл. 1, были приняты в зависимости от следующих основных факторов:

- конструктивных особенностей здания, включая подземную часть;
- типа и параметров фундаментов (конструкции и глубины заложения);
- передаваемых на грунт нагрузок от здания;
- характеристик грунтов основания, в т.ч.: пористости, влажности, относительной просадочности, начального просадочного давления, мощности и глубины слоев, обладающих просадочными свойствами;
- особенностей рельефа местности, наличия оползневой опасности;
- уровня грунтовых вод и прогноза его изменения;
- потенциальных источников водонасыщения просадочных грунтов.

Рассмотрим влияние указанных факторов на проектные решения на конкретных примерах.

Таблица №1

Инженерно-геологические условия площадок и проектные решения по
закреплению оснований при строительстве новых школ в Ростовской области

Наименование, расположение проектируемого учреждения, год проектирования	Основные архитектурно-строительные решения, тип фундаментов	Особенности инженерно-геологических условий	Основные проектные решения по закреплению (усилению) грунтового основания
Строительство средней общеобразовательной школы в Восточном жилом районе г. Новочеркаска, 2016 г.	Здание школы четырехэтажное, каркасного типа, состоящее из 4 блоков, с размерами 12,9×125,9 м, 30,2×57,0 м, 30,0×60,1 м и 37,0×48,0 м. Фундамент – монолитные ж.-б. плиты с глубиной заложения 1,5 – 2,5 м. В проектируемый комплекс входят переходные галереи №1, 2 и котельная с дымовой трубой. Фундаменты опор переходных галерей - плиты, дымовой трубы – столбчатый с размерами подошвы 4,2×4,2 м.	Просадочные суглинки до глубины 4,1-5,6 м (I тип) с модулем деформации в естественном состоянии 12,9 МПа, при водонасыщении – 4,2 МПа. Уровень грунтовых вод (УГВ) - 6,4-7,6 м	Армирование основания цементно-песчаным раствором по технологии [8], включая бурение скважин Ø 70-80 мм, инъецирование раствора под давлением 0,2 МПа на всю глубину просадочной толщи через гибкие инъекторы и погружение в заполненную скважину рабочей арматуры АШ диаметром 12 мм.
Строительство школы на 1000 мест в 8,10-м строительном квартале г. Аксая, 2016 г.	Здание школы 4-х этажное, каркасного типа, состоящее из 4-х блоков, с размерами 12,9×125,9 м, 30,2×57,0 м, 30,0×60,1 м и 37,0×48,0 м. Тип фундамента – монолитные ж/б плиты $h = 600$ мм с глубиной заложения – 1,5-2,5 м.	Просадочные суглинки и супеси до глубины 12,9-14,9 м (II тип), ниже – непросадочные глины. УГВ - 19,0-22,0 м	Армирование основания цементно-песчаным раствором по технологии [8], в 3 этапа – на глубину под подошвой фундаментов: 0 – 4,0 м; 4,0 – 8,0 м и 8,0 – 11,4 (12,9) м.
Строительство общеобразовательной организации вместимостью 1340 учащихся по адресу: Ростовская область, г. Таганрог, ул. Галицкого, 49-б, 2017 г.	Здание общеобразовательной школы включает в себя четыре блока, соединенных переходными коридорами. Конструктивная схема здания – каркасная. Фундаменты – монолитные железобетонные плиты с глубиной заложения 2,5-3,5 м.	Просадочные суглинки до глубины 16,6-17,8 м (II тип), ниже – непросадочные суглинки и глины. Грунтовые воды до 24 м не вскрыты.	Армирование основания цементно-песчаным раствором по технологии [8], в 3 этапа – на глубину под подошвой фундаментов: 0 – 5,0 м; 5,0 – 10,0 м и 10,0 – 14,0 (16,0) м. Сетка скважин 1300×1300 мм. Раствор 1:2:1 (цемент-песок-вода) по весу

Окончание таблицы №1

Наименование, расположение проектируемого учреждения, год проектирования	Основные архитектурно-строительные решения, тип фундаментов	Особенности инженерно-геологических условий	Основные проектные решения по закреплению (усилению) грунтового основания
Строительство школьного комплекса на 1100 мест в г. Ростове-на-Дону (микрорайон «Красный Аксай»), 2017 г.	4 блока, соединенные переходными галереями и расположенные на 2 разноуровневых террасах: блоки 1, 2 и 4 – на нижней террасе (абс. отм. 30,45 м), блок 3 (начальная школа), спортивные и игровые площадки – на верхней (абс. отм. 39,30 м).	Геологический разрез сверху вниз: техногенные грунты, легкая глина, песок мелкий, известняк-ракушечник. УГВ - в известняках и кровле песков 10,5-15,1 м. Просадочные грунты отсутствуют	Подпорная стена (ПС), длиной 110,2 м, разделяет участки с перепадом отметок 9 м. ПС из 112 БНС Ø800 мм, длиной 12 м. Шаг установки свай – 800-1000 мм. объединены монолитным ж.-б. ростверком шириной 1000 мм. Поверх ростверка - монолитная ж.-б. стена высотой 4 м и толщиной 400 мм
Строительство школы на 600 мест в с. Чалтырь Мясниковского района, 2018 г.	Два блоками: 3-этажный учебный блок А и 2, 3-этажный спортивно-вспомогательный блок Б. Наибольший размер здания 90,10×68,00 м (в осях). Конструктивная схема здания – рамно-связевой ригельный каркас из монолитного железобетона с несущими стенами. Фундаменты сплошная монолитная ж.-б. плита толщиной 500 мм из бетона кл. В20, W4, F75	Суммарная мощность просадочной толщи 14,9-17,0 м. Просадка от собственного веса 10,58-18,94 см. Тип грунтовых условий по просадочности – второй (II)	Цементация просадочных грунтов основания только на глубину «сжимаемой толщи» – 9 м, тремя заходками по 3 м. Комплекс водозащитных и конструктивных мероприятий.
Строительство здания начальной школы на 100 мест, расположенной по адресу: Ростовская область, г. Шахты, ул. Дачная, 202-а, 2018 г.	Здание – одноэтажное, сложной формы в плане с размерами в осях 62,22×65,0 м, актовый и спортивный залы отделены от здания деформационными швами. Конструктивная схема здания – несущие продольные кирпичные стены. Фундамент монолитная ж.-б. лента толщиной 400 мм	Суглинок до глубин 3,0-4,2 м - сильно-просадочный, от 4,2 до 7,0 м – слабо-просадочный Тип грунтовых условий по просадочности – I. УГВ от 3,7 до 7,8 м.	Глубинное уплотнение грунтовыми сваями на глубину 6 м ниже подошвы фундамента, пробуренными по сетке свай в пределах 900×750 мм. Диаметр скважин - 180 мм. Достижение ρ_d не менее 1,65 г/см ³ , а в теле грунтовой свай до 1,75 г/см ³ .

Типовые проекты современных школ предусматривают 3 – 4 отдельных блока, включающих учебные классы, мастерские, спортивный и актовый залы, плавательный бассейн и др., объединенные, как правило, переходными галереями.

Такие архитектурно-строительные решения были приняты при проектировании школ на 1000, 1100 или 1340 мест в гг. Ростове-на-Дону, Таганроге, Новочеркасске и Аксае. Для трех последних площадок характерны просадочные грунты, залегающие непосредственно в основании фундаментов, при этом их мощность составляет: 4,1-5,6 м при I типе грунтовых условий по просадочности (г. Новочеркассск); 12,9-14,9 м при II типе (г. Аксай) и 16,6-17,8 м также при II типе (г. Таганрог). Для обеспечения эксплуатационной надежности зданий указанных школ во всех трех случаях были приняты фундаментные железобетонные плиты с глубиной заложения от 1,5 до 3,5 м на основании, закрепленном методом армирования цементно-песчаным раствором через гибкие инъекторы [8]. Отличие заключалось лишь в выборе количества этапов закрепления, величины заходок цементации по глубине, составлявшей от 3 до 5 м и расчетного объема нагнетаемых составов, определяемого итоговые характеристики закрепленного грунта.

Отличительной особенностью проектирования школы в микрорайоне «Красный Аксай» г. Ростова-на-Дону является пересеченный рельеф местности, с разницей высотных отметок более 9 м, что потребовало террасирования территории и размещения отдельных блоков на разных по высоте площадках. Во избежание активизации оползневых процессов проектом было предусмотрено устройство мощной протяженной подпорной стенки из буронабивных свай, объединенных единым монолитным ростверком и разделяющей разноуровневые площадки. Благодаря отсутствию в основании фундаментов просадочных грунтов и залеганию

скальных грунтов (известняков) на сравнительно небольшой глубине, дополнительных мероприятий по закреплению грунтов не потребовалось.

Проектирование двух блоков 2-3-этажной школы на 600 мест в с. Чалтырь Мясниковского района также усложнялось значительной мощностью просадочных грунтов (до 17 м) и наличием II типа грунтовых условий по просадочности. В качестве фундамента была принята монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм. Традиционный подход к проектированию закрепления грунта на всю просадочную толщу приводил к повышенным материальным затратам. Соответствующими расчетами было доказано, что закрепление всей толщи экономически нецелесообразно при отсутствии подъёма воды снизу и реализации комплекса мероприятий водозащитных и конструктивных. Поэтому принято решение о закреплении грунта на толщину $h_{sl,p}$, определяющую верхнюю (деформируемую) зону просадки $s_{sl,p}$ от нагрузки фундамента, согласно п. 6.3.1 СП 21.13330.2016. Проектом также был предусмотрен комплекс водозащитных мероприятий (компоновка генплана и вертикальная планировка, обеспечивающая быстрый отток поверхностных вод, прокладка коммуникаций по второму типу с контролем за утечками, устройство уширенных отмопок и т. п.), выполняемых с целью снижения вероятности замачивания грунтов основания, исключения интенсивного замачивания на всю просадочную толщу и полного проявления просадки грунта от собственного веса, контроля за состоянием водонесущих коммуникаций, обеспечения своевременного устранения источников замачивания. В качестве конструктивного мероприятия реализована жёсткая конструктивная схема в виде полного каркаса на плитном фундаменте.

Заслуживает также отдельного внимания проект упрочнения грунтового основания при строительстве начальной школы на 100 мест в г. Шахты. В сложившихся инженерно-геологических и гидрогеологических

условиях (табл. 1), а также с учетом небольшого давления под подошвой фундамента было обосновано применение метода усиления основания грунтовыми сваями, обеспечивающего создание однородного массива грунта и преобразование его строительных свойств грунтов в соответствии с пунктом 5.9.3 СП 22.13330.2011. Применение грунтовых свай в водонасыщенных грунтах подтверждается нормативной документацией, где они рекомендуются также в качестве противодиффузионной завесы (при плотности скелета $\rho_d \geq 1,75 \text{ г/см}^3$), а также из опыта строительства, на площадках юга России [9, 10]. Независимо от исходных условий площадки строительства предусматривается пробное уплотнение для контроля качества уплотнения и требуемых физико-механических свойств усиленного массива, в случае отклонений вносятся корректировки в проект.

Применение данного метода при одинаковой длине грунтовых свай для всех фундаментов обеспечивает создание уплотненного массива с едиными физико-механическими свойствами, что позволяет избежать значительных разностей осадок и возникновение просадки.

Выполненный анализ подтверждает возможность проектирования, экономическую эффективность и безопасность строительства зданий школ в условиях просадочных грунтов Ростовской области при комплексном учете инженерно-геологических, гидрогеологических, техногенных факторов, и использовании передового опыта в области техники и технологии упрочнения и закрепления грунтовых массивов.

Литература

1. Мартыненко И.А., Прокопова М.В., Капралова И.А. Реконструкция зданий, сооружений и застройки. – Ростов н/Д.: РГУПС, 2017. – 221 с.
2. 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.

3. Новоженин В.П., Карлина И.Н. Влияние температуры грунта на степень его химического закрепления// Инженерный вестник Дона, 2013, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2068.

4. 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.

5. 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

6. Dolzhikov P., Prokopov A., Akopyan V. Foundation Deformations Modeling in Underworking and Hydroactivated Rocks// Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol 692. 2018. URL: doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_69

7. Голованов А.М. Исследование однорастворного способа силикатизации лессовых грунтов и возможностей повышения его эффективности: дис. канд. техн. наук: 05.23.02. Ростов-на-Дону, 1970. 234 с.

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

9. Галай Б.Ф. Рекомендации по проектированию и устройству буронабивных грунтовых свай, изготовленных шнековым способом в просадочных и слабых грунтах. – Ставрополь: СКФУ. 2016. 96 с.

10. Галай Б.Ф., Стешенко Д.М., Галай Б.Б. Новые методы подготовки оснований в сложных инженерно-геологических условиях Северного Кавказа // Вестник СевКавГТУ. 2008. № 2(15). С. 40-46.

References

1. Martynenko I.A., Prokopova M.V., Kapralova I.A. Rekonstruktsiya zdaniy, sooruzheniy i zastroyki [Reconstruction of buildings, structures and development]. Rostov-on-Don: RGUPS, 2017. 221 p.



2. Dezhina I.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1945
3. Novozhenin V.P., Karlina I.N., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2068
4. 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.
5. Prokopov A., Prokopova M., Rubtsova Ya. MATEC Web of Conferences. Vol. 106. 2017. URL: doi.org/10.1051/matecconf/201710602001
6. Dolzhikov P., Prokopov A., Akopyan V. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol 692. 2018. URL: doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_69
7. Golovanov A.M. Issledovanie odnorastvornogo sposoba silikatizacii lessovyh gruntov i vozmozhnostej povysheniya ego ehffektivnosti [Study of one-solution method of silicatization of loess soils and possibilities for increasing its effectiveness]. Rostov-on-Don, 1970. 234 p.
8. Reinforced base: RF patent 83258: IPC E02D5 / 66 / A.G. Chernyavsky; declare 07.24.2008; publ. 27.05.2009.
9. Galay B.F. Rekomendacii po proektirovaniyu i ustrojstvu buronabivnyh gruntovyh svaj, izgotovlennyh shnekovym sposobom v prosadochnyh i slabyyh gruntah [Recommendations for the design and construction of bored soil piles manufactured by the screw method in subsiding and weak soils]. Stavropol, 2016. 96 p.
10. Galay B.F., Steshenko D.M., Galay B.B. Vestnik SevKavGTU. 2008. №2 (15). Pp. 40-46.