

Повышение качества усиления грунтовых массивов по результатам геотехнического мониторинга

При возведении зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях широко применяются различные способы усиления грунтов основания. Результаты многолетнего геотехнического мониторинга показывают, что не во всех случаях принятые проектные решения являются оптимальными. В статье представлены результаты исследования, позволяющие повысить качество проектирования усиления грунтов основания за счет уточнения расчетной схемы. На основании статистической обработки данных исследований получены зависимости между относительной осадкой сооружений, показателем консистенции, модулем деформации грунтов под подошвой усиленного массива.

Ключевые слова: *раскатка скважин, геотехнический мониторинг, усиление грунтов, качество усиления, осадка.*

С начала 2000-х гг. темпы строительства промышленных, гражданских и транспортных сооружений находятся на достаточно высоком уровне. Между тем при строительстве зданий и сооружений в мегаполисах, к которым относится и Новосибирск, вскрывается ряд геотехнических проблем, связанных с высокой плотностью городской застройки.

Все чаще возникает необходимость возведения объектов вплотную к существующей застройке и коммуникациям со вскрытием котлованов и траншей с вертикальными откосами, вовлекающими в свою зону влияния близлежащие здания и сооружения. Застройщиками осваиваются «неудобные» участки, расположенные на крутых склонах, в поймах рек, на техногенных участках и т. д., которые относятся согласно СП 47.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» к участкам со сложными инженерно-геологическими условиями. Значительная стоимость участков подталкивает инвесторов к увеличению этажности сооружений, что неизбежно приводит к возрастанию нагрузок на грунтовое основание. И наконец, не стоит забывать, что мегаполис обладает развитой транспортной, промышленной и коммунальной инфраструктурой, что является потенциальным источником вибродинамических воздействий и техногенного увлажнения и негативно сказывается на работе грунтов основания фундаментов.

В таких условиях все шире применяются различные способы усиления грунтовых массивов. В частности, в геологических условиях

г. Новосибирска нашли широкое применение такие способы усиления грунтов основания, как глубинное уплотнение грунтов сваями в раскатанных скважинах, инъектирование твердеющих растворов, буросмесительный способ и другие [1–3]. В ряде случаев усиление грунтов является безальтернативным способом подготовки основания под строительство объекта.

Широкое использование усиленных массивов и оснований при решении тех или иных геотехнических задач и последующее наблюдение за объектами показали, что не всегда усиленное основание работает в режиме, предусмотренном проектной документацией, а в ряде случаев не достигается положительного результата. Следовательно, вопрос повышения качества усиления грунтов основания, причем как на стадии проектно-изыскательских, так и на стадии строительно-монтажных работ, становится весьма актуальным.

Обеспечение качества усиления грунтов основания на стадии строительно-монтажных работ является задачей внутреннего и независимого строительного контроля на объекте. Решение данной задачи сводится к строгому соблюдению на стадии строительства требований проектной и рабочей документации, а также требований профильных нормативных документов (сводов правил, ГОСТов, технологических карт и регламентов и т. д.).

Повышение качества усиления грунтов основания на стадии проектно-изыскательских работ является задачей, требующей особого внимания [4]. Во-первых, проектирование

усиления грунтов основания требует дополнительных геотехнических данных, не всегда отраженных в отчете по инженерно-геологическим изысканиям, выполненным в соответствии с нормативными требованиями для проектирования самого сооружения. Во-вторых, текущее состояние нормативной базы для проектирования усиления грунтов основания даже широко используемыми способами не позволяет выполнить конструирование и необходимые расчеты в полном объеме. Поэтому проектные организации вынуждены использовать собственные и общедоступные, но не всегда обоснованные расчетные схемы и решения к ним [5].

Для повышения качества проектирования усиления необходима объективная информация о работе усиленных грунтовых массивов и оснований в течение времени стабилизации сооружений. На протяжении нескольких лет для получения такой информации авторами проводится геотехнический мониторинг объектов, по результатам которого собирается статистическая информация и совершенствуются методики проектирования усиления грунтов основания. Мониторинг проводится в период строительства и на начальном этапе (один-два года) эксплуатации усиленных грунтов.

В настоящей статье авторами будут представлены результаты геотехнического мониторинга работы усиленных грунтов основания под рядом однотипных жилых домов, построенных в период с 2010 по 2015 г. в Новосибирске. Мониторинг выполнен по десяти 20–26-этажным зданиям, расположенным на улицах Фрунзе, Державина, Романова, Героев Революции, Котовского и Дмитрия Донского (зданиям присвоены условные номера 1–10). В качестве фундамента выбранных зданий использовалась плита на основании из грунтов, усиленных бетонными набивными сваями в раскатанных скважинах глубиной от 10 до 13 м. Таким образом, усиленное основание на выбранных объектах представлено массивом из уплотненного методом раскатки скважин грунта [6] и армоэлементов в виде набивных свай [7]. Как правило, в зону усиления попадали песчаные и пылеватые супеси твердой консистенции, а также легкие суглинки твердой и полутвердой консистенции преимущественно в нижней части зоны усиления.

В состав работ по геотехническому мониторингу входили наблюдения за высотными смещениями несущих зданий, визуальном-инструментальный мониторинг состояния конструкций, а также мониторинг изменения грунтовых условий площадки.

Программа измерений включала в себя следующие циклы наблюдений:

1. Нулевой цикл определения планово-высотного положения конструкций. Выполнялся на начальном этапе строительства.

2. Периодические геодезические измерения планово-высотного положения конструкций. Периодичность мониторинга определялась в соответствии с табл. 12.1 СП 22.13330.2011 «Основания и фундаменты зданий и сооружений».

По результатам геотехнического мониторинга построены графики относительной осадки сооружений ϵ_s по этапам наблюдения (рис. 1). За относительную осадку принято отношение фактической осадки сооружения S_f к расчетной осадке S_p (110–130 мм в зависимости от сооружения), определенной с использованием характеристик усиленных грунтов основания при естественных условиях. Максимальная расчетная осадка, определенная с использованием характеристик усиленных грунтов основания в водонасыщенном состоянии, составляла 150–170 мм в зависимости от сооружения. Ни на одном из сооружений техногенного замачивания грунтов основания не установлено.

Графики относительной осадки сооружений ϵ_s по этапам наблюдения наглядно демонстрируют, что расчетная осадка основания, заложенная в проектной документации, не достигнута, что положительно сказывается на работе сооружения.

Тем не менее установленное отклонение от ожидаемых в проектной документации значений осадки указывает на несовершенство принятой при проектировании расчетной схемы. Если задаться требованием таблицы П.1 СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты», ограничивающим предельные отклонения проектных величин при закреплении грунтов до 10 %, то только четыре из десяти объектов соответствуют этим требованиям ($\epsilon_s > 0,9$). По остальным объектам относительная осадка находится в пределах от 0,83 до 0,55 ($\epsilon_s < 0,9$), что указы-

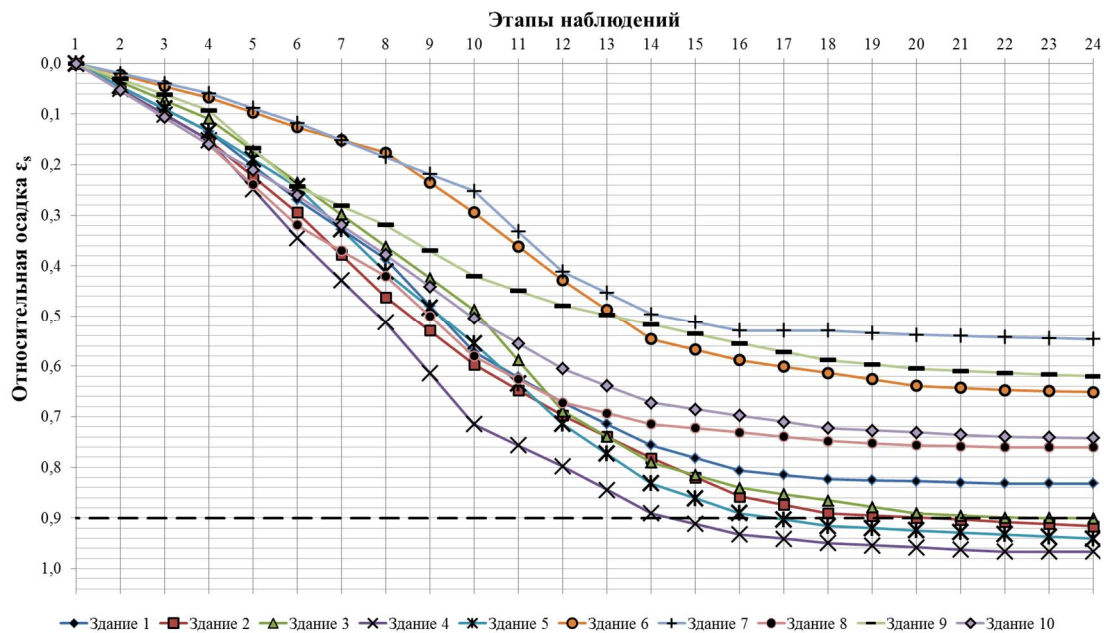


Рис. 1. Графики относительной осадки сооружений по этапам наблюдений

вает на то, что расчетная схема при проектировании принята недостаточно обоснованно.

В реализованных проектах, за неимением альтернативных нормативных методик расчета, использовались расчетные схемы и требования, предусмотренные нормативными документами. Осадку основания определяли с использованием расчетной схемы в виде линейно деформированного полупространства, в том числе применяя стандартные вычислительные комплексы. При этом усиленное основание рассматривалось как расчетный слой грунта с повышенными до требуемых значений характеристиками (достигаются варьированием шага, диаметра и материала набивных свай в раскатанных скважинах).

При подробном анализе проектно-изыскательской документации установлена закономерность между грунтовыми условиями участков и относительной осадкой сооружений. Так, установлено, что расчетная осадка основания соответствует фактической ($\epsilon_s > 0,9$) на участках, где в нижней части усиленного массива и ниже его наблюдается повышение показателя консистенции I_L грунтов и закономерное снижение модуля деформации E . Наглядно это можно продемонстрировать графиками зависимости относительной осадки сооружений ϵ_s от показателя консистенции I_L и модуля деформации E грунтов

под подошвой усиленного массива (рис. 2 и 3 соответственно).

Анализируя график, представленный на рис. 2, авторы статьи пришли к выводу, что используемую расчетную схему в виде линейно деформированного полупространства справедливо применять при показателе консистенции грунтов под подошвой усиленного массива $I_L > 0,4$. В этом случае расчетная осадка основания S_p соответствует фактической осадке S_f ($\epsilon_s > 0,9$). При показателе консистенции под подошвой усиленного массива $I_L < 0,4$ существенно возрастает расчетное сопротивление под нижним концом бетонных свай в раскатанных скважинах, и они частично включаются в работу усиленного основания. Этот факт не учитывался в применяемой ранее при проектировании усиления расчетной схеме.

В таких условиях ($I_L < 0,4$) рекомендуется применять более сложную расчетную схему, которая будет учитывать работу свай в раскатанных скважинах, а сам расчет выполнять методом конечных элементов при трехмерной постановке задачи. Составление такой пространственной расчетной схемы и расчет целесообразно выполнять в специализированном программном комплексе.

Для этой цели использовался программный комплекс MIDAS GTS NX, позволяющий

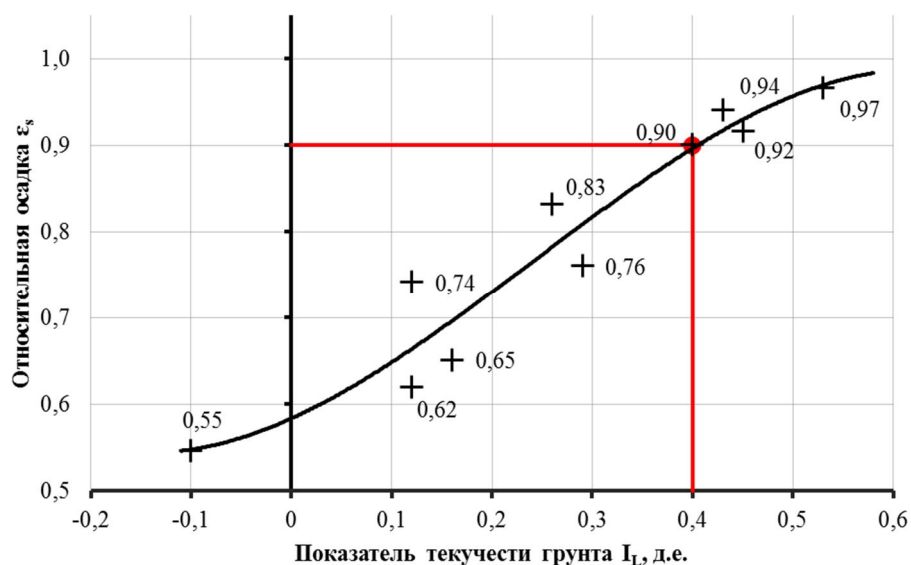


Рис. 2. Зависимость между относительной осадкой сооружения и показателем консистенции грунтов под подошвой усиленного массива

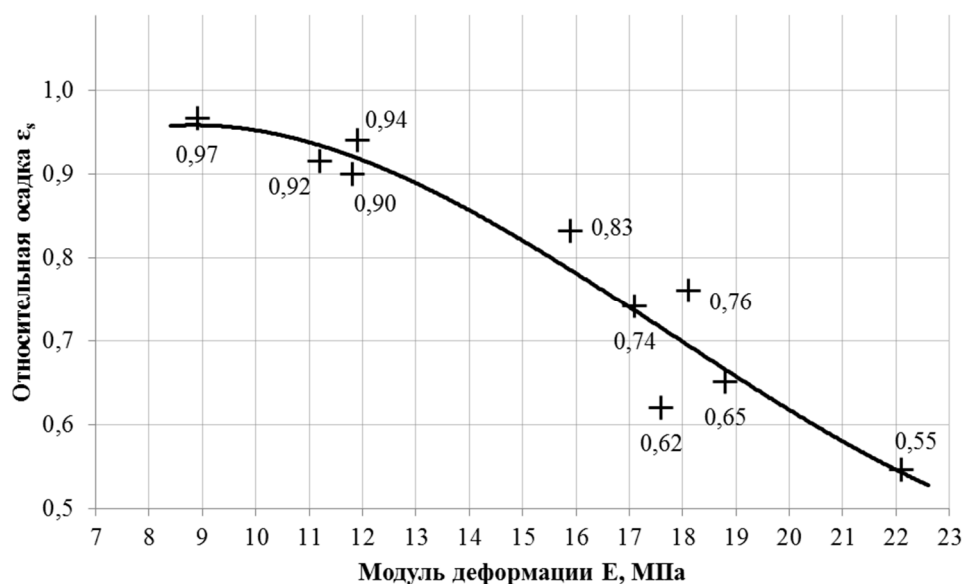


Рис. 3. Зависимость между относительной осадкой сооружения и модулем деформации грунтов под подошвой усиленного массива

учесть большинство аспектов работы набивных свай в раскатанных скважинах в грунтовом массиве. Моделирование работы усиленного массива выполнялось с применением стандартных модулей программы. В графическом трехмерном редакторе программной среды создавалась геометрическая модель основания, включающего набивные сваи, массив уплотненного грунта, слои подстилающих грунтов. Геометрической модели структурного каркаса придавался объем, и создавалась сетка конечных элементов.

Для учета уплотнения грунтов от раскатки скважин грунтовый массив в межсвайном пространстве формировался отдельными зонами вокруг свай. Для каждой зоны задавались значения физико-механических характеристик грунтов, соответствующие степени уплотнения грунта, определяющейся по расстоянию до свай [8]. Набивные сваи формировались как вертикальные цилиндрические элементы.

Построение грунтовой среды и набивных свай выполнялось на базе модели идеально-пластичной среды Кулона – Мора, использую-

шей основные параметры пластичности – удельное сцепление C , угол внутреннего трения φ , модуль деформации E и коэффициент Пуассона ν .

В качестве примера на рис. 4 представлен фрагмент составленной в программном комплексе GTS NX трехмерной модели основания для здания № 7.

По результатам расчета для здания № 7 получено значение расчетной осадки $S_p = 62$ мм, что соответствует фактической осадке сооружения в пределах допустимых согласно СП 45.13330.2012 отклонений. Аналогичные результаты получены для шести объектов, на которых первоначальная относительная осадка была менее 0,9.

По результатам выполненного исследования разработана и рекомендована новая рас-

четная схема для проектирования усиления грунтов сваями в раскатанных скважинах при показателе консистенции под подошвой усиленного массива $I_L < 0,4$.

Не менее значимые результаты геотехнического мониторинга были получены и для других объектов, на которых выполнено усиление грунтовых массивов и оснований, позволившие сделать определенные выводы о качестве усиления грунтов.

Так, на нескольких объектах установлено, что фактическая осадка превышает расчетную на недопустимые значения ($\varepsilon_s > 1,1$). Например, при усилении жилого дома по ул. Щетинкина неверно учли конфигурацию фундаментов, для жилого дома по ул. Станиславского неверно приняли метод усиления (напорную инъекцию для просадочных грунтов твердой

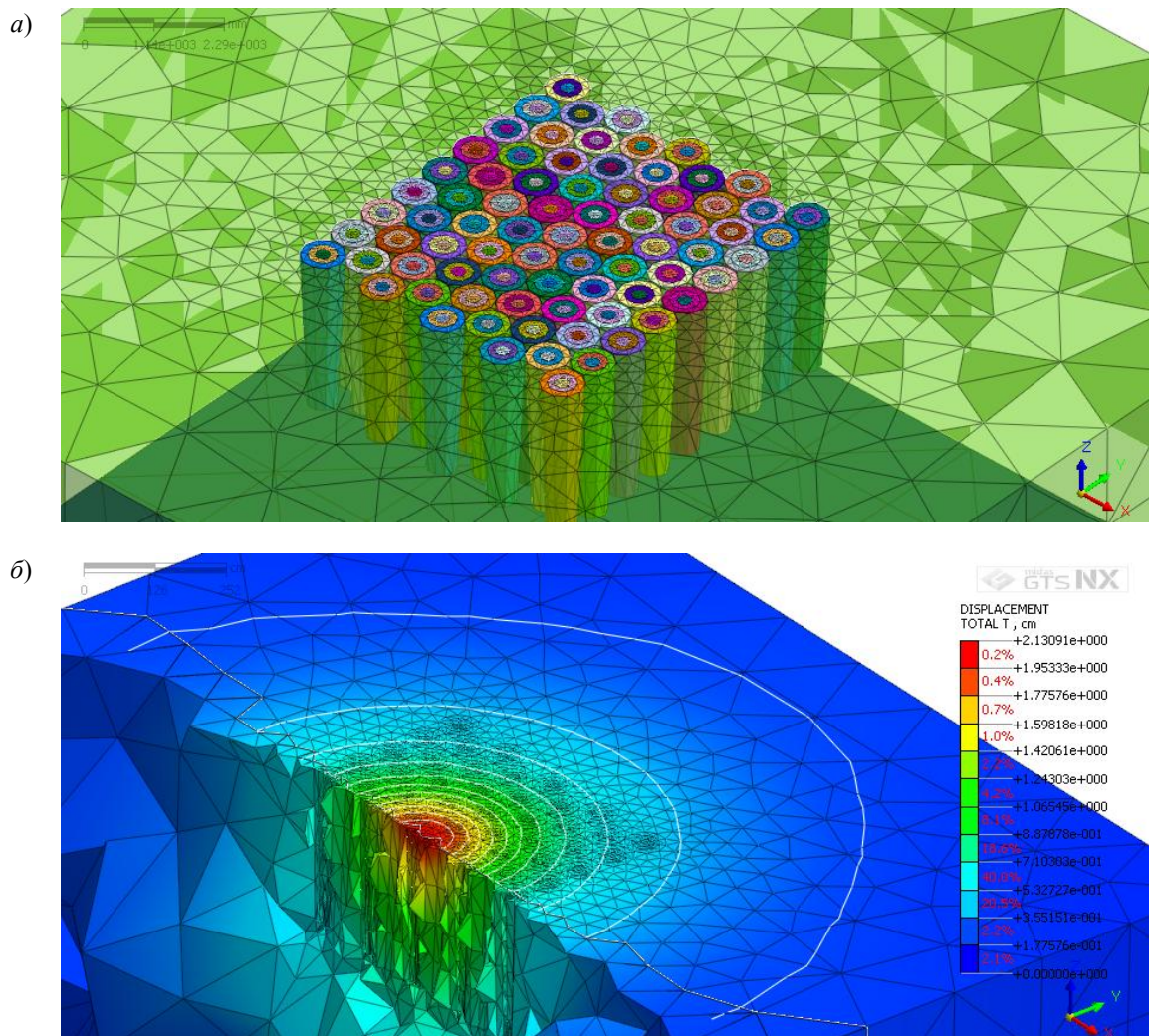


Рис. 4. Фрагмент трехмерной модели основания здания № 7:

а – расположение набивных свай и уплотненного грунта в массиве; б – деформации фрагмента модели

Рекомендации по устранению недостатков работ по усилению грунтов в зависимости от относительной деформации сооружения

Относительная деформация ϵ_s сооружения	Возможные недостатки работ	Рекомендации
Менее 0,7	Некачественно выполнены изыскания, выбрана неверная расчетная схема, не учтена работа подстилающих усиленный массив грунтов	Учесть недостатки при выполнении последующих работ на подобных объектах
От 0,7 до 0,9	В расчетах приняты заниженные значения деформационных характеристик грунтов	Уточнить деформационные характеристики грунтов по результатам испытаний грунтов статическими нагрузками (штамповые испытания)
От 0,9 до 1,1	—	—
Более 1,1	Некачественно выполнены изыскания, грубые ошибки в проектной документации, нарушение технологии строительно-монтажных работ, неверно выбран способ усиления грунтов	Выполнить дополнительное усиление грунтов основания, учесть недостатки при выполнении последующих работ на подобных объектах

консистенции), что, безусловно, является ошибкой проектно-изыскательских работ. Выявляются и нарушения со стороны строительно-монтажных организаций. При усилении грунтов основания вентиляционных каналов одной из станций метро допустили выход инъекционного раствора за пределы зоны усиления, и омонолитили усиливаемые фундаменты с сильно деформирующимися конструкциями.

После сбора статистических данных по результатам геотехнического мониторинга по критерию осадки усиленных грунтовых массивов были определены следующие возможные недостатки работ (таблица).

Выводы

1. Анализ накопленного опыта по проведению геотехнического мониторинга на объектах строительства Новосибирска, а также дополнительные исследования позволили вы-

явить закономерности между грунтовыми условиями участков и относительной осадкой сооружений. На основании статистической обработки данных исследований получены зависимости между относительной осадкой сооружений, показателем консистенции, модулем деформации грунтов под подошвой усиленного массива.

2. Разработаны рекомендации по устранению недостатков работ по усилению грунтов в зависимости от относительной осадки.

3. Решена частная задача по учету влияния подстилающих усиленный массив грунтов при расчете осадки основания, усиленного способом раскатки скважин. По результатам выполненного исследования разработана и рекомендована новая расчетная схема для проектирования усиления грунтов сваями в раскатанных скважинах при показателе консистенции под подошвой усиленного массива $I_L < 0,4$.

Библиографический список

1. Саурин А. Н. Набивные сваи в раскатанных скважинах перспективное основание для устройства фундаментов в сложных грунтовых и построечных условиях // Тр. междунар. семинара по механике грунтов, фундаментостр. и трансп. соор. М., 2000. С. 236–239.
2. Ланис А. Л. Способы усиления земляного полотна инъектированием // Известия Транссиба. 2016. № 3 (27). С. 117–124.
3. Богов С. Г. Проблемы устройства свайных оснований в городской застройке в условиях слабых грунтов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2004. № 8. С. 119–128.
4. Саурин А. Н. Сваи в раскатанных скважинах // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12. С. 42–43.
5. Багдасаров Ю. А., Саурин А. Н. Армирование оснований фундаментов грунтовыми сваями в раскатанных скважинах // Реконструкции исторических городов и геотехническое строительство. СПб.; М., 2003. Т. 2. С. 29–33.

6. Ломов П. О. Повышение качества проектирования усиления грунтового основания армированием набивными сваями в раскатанных скважинах // Науковедение. 2014. № 2 (21). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/132TVN214.pdf> (дата обращения: 01.09.2017).

7. Ланис А. Л., Разуваев Д. А. Усиление грунтов земляного полотна на подходах к мостам и путепроводам // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. № 3. С. 97–104.

8. Ломов П. О. Определение коэффициента пористости грунта, уплотненного методом раскатки скважин // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 94–99.

A. L. Lanis, D. A. Razuvaev

Upgrading Soil Mass Strengthening Based on the Results of Geotechnical Monitoring

Abstract. When constructing buildings and structures in complex engineering and geological conditions, various methods of strengthening the foundation soils are widely used. The results of long-term geotechnical monitoring show that in all cases the design solutions adopted are optimal. The article presents the results of a study that allows improving the design quality of ground reinforcement by clarifying the design scheme. On the basis of statistical processing of the research data, dependencies between the relative draft of the structure, the consistency index, and the soil deformation modulus under the base of the strengthening mass were obtained.

Key words: *rolling-out of wells; geotechnical monitoring; strengthening of soils; quality of strengthening; sediment.*

Ланис Алексей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Геотехника, тоннели и метрополитены» СГУПС. E-mail: alangeo@bk.ru

Разуваев Денис Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Изыскания, проектирование и постройка железных и автомобильных дорог» СГУПС. E-mail: Razdenis@mail.ru