

В печать
26.01.2018



На правах рукописи

Писаренко Анастасия Валериевна

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БЕСКАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ
С ОСНОВАНИЕМ ИЗ ЧАСТИЧНО ЗАКРЕПЛЕННОГО
ПРОСАДОЧНОГО ГРУНТА**

05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка – 2017

Работа выполнена на кафедре оснований, фундаментов и подземных сооружений Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,
Яркин Виктор Владимирович,
ГОУ ВПО «Донбасская государственная академия строительства и архитектуры», доцент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений.

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Галай Борис Федорович,
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», профессор кафедры строительства, г. Ставрополь;

кандидат технических наук, доцент
Емец Елена Васильевна,
ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», доцент кафедры строительных конструкций, г. Алчевск.

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк.

Защита состоится «12» апреля 2018 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.006.02 при ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал заседаний ученого совета. Тел. факс: +38 (0623) 22-77-19, e-mail: d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «__» февраля 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 01.006.02



Назим Ярослав Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Просадочные грунты широко распространены на территории как Донецкого региона, так и территории соседних государств. Просадочные грунты занимают около 15% территории стран СНГ. Особенно они широко распространены на Украине (более 70%), Северном Кавказе, в Крыму, Молдавии, Центральной нечерноземной зоне России, Поволжье и Казахстане.

Строительство на просадочных грунтах как правило требует дополнительных затрат, направленных либо на предотвращение, либо на ликвидацию последствий негативных воздействий на здание от просадки грунта.

При проектировании и строительстве зданий и сооружений на просадочных грунтах имеются две основные тенденции:

- устранение или минимизация всех негативных воздействий на здание от просадочных деформаций основания путем уплотнения, закрепления основания или применения фундаментов глубокого заложения. При этом несущие конструкции зданий как правило имеют неиспользуемый значительный потенциал прочности и жесткости, что экономически нецелесообразно;

- максимально эффективное использование жесткости и прочности основных несущих элементов здания, снижая таким образом затраты на устранение негативных воздействий на здание от неравномерных деформаций основания. В этом случае здание должно быть способным воспринять возникающие в нем дополнительные усилия без существенных повреждений, а совместные перемещения и деформации системы «основание – фундамент - сооружение» (ОФС) не должны превышать предельно допустимых значений.

В условиях застроенной территории наиболее эффективно применение методов инъекционного закрепления грунта, позволяющих увеличивать жесткость грунтового массива и устранять просадочность как на глубину всей просадочной толщи, так и в пределах определенных зон просадки. Наибольшее распространение получило инъекционное закрепление при помощи водного раствора силиката натрия. Данная рецептура закрепляющего раствора обеспечивает излишне высокие прочностные и деформационные характеристики закрепленного грунта, но его проникающая способность относительно невелика и в ряде случаев требует дополнительного применения электроосмоса.

В связи с этим, актуальным вопросом является разработка новой рецептуры закрепляющего раствора, обеспечивающего большую проникающую способность, даже за счет некоторого снижения прочностных и деформационных характеристик закрепленного грунта. А также схем частичного закрепления основания из просадочного грунта не только по глубине, но и в плане, при которых происходит снижение усилий в конструкциях здания до допустимого уровня, который обеспечивается применением рациональных конструктивных мероприятий.

Целью исследования является установление влияния на напряженно-деформированное состояние (НДС) бескаркасных зданий частичного закрепления просадочного грунта основания в плане и по глубине с применением закрепляющего раствора повышенной проникающей способности.

Для реализации указанной цели автором решены **следующие задачи**:

- выполнен анализ существующих способов закрепления основания, сложенного просадочными грунтами и обоснована возможность его частичного закрепления;
- разработан композиционный состав закрепляющего раствора с добавлением анионоактивного полиакриламида Есofloc для получения химически закрепленных просадочных грунтов с прочностными и деформационными характеристиками, достаточными для устранения их просадочных свойств;
- выполнены экспериментальные исследования по подбору рациональной рецептуры инъекционного раствора для закрепления грунтов оснований, обеспечивающую его большую проникающую способность;
- выполнены экспериментальные исследования деформативности грунта, закрепленного раствором, разработанного состава;
- предложена методика определения коэффициента жесткости основания при частичном закреплении просадочного грунта, учитывающая напряженное состояние грунтового массива не только по глубине, но и в плане;
- предложена методика выбора схемы частичного закрепления просадочного грунта и процентного содержания объема закрепленного грунта от объема грунта, воспринимающего внешние нагрузки, которые обеспечивают снижение усилий (напряжений) в конструкциях здания и неравномерных деформаций основания до допустимого уровня;
- выполнены численные исследования влияния частичного закрепления просадочного грунта основания в плане и по глубине на напряженно-деформированное состояние бескаркасного здания;
- проведена проверка результатов выполненных численных исследований путем сопоставления с данными натурных наблюдений на объекте, который эксплуатируется на просадочных грунтах, с целью подтверждения либо корректировки теоретических положений.

Объект исследования бескаркасные здания, эксплуатируемые на просадочных грунтах.

Предмет исследования жесткостные характеристики основания, изменяемые в процессе эксплуатации здания на просадочных грунтах и их влияние на НДС конструкций бескаркасных зданий.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в рамках государственных научно-исследовательских тем:

- К-3-05-11 «Повышение уровня безопасности в строительстве, жилищной и производственной сфере»;

- К-3-05-16 «Снижение рисков возникновения опасных ситуаций на промышленных объектах» (номер государственного учета НИОКТР 0117 D 000277 от 02.05.2017 г.).

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Усовершенствована методика расчета бескаркасных зданий по допустимым неравномерным деформациям основания, позволяющая предварительно установить рациональную схему частичного закрепления просадочного грунта с учетом инженерно-геологического строения массива грунта, действия внешних нагрузок и произвольных наиболее неблагоприятных схем увлажнения (замачивания) грунтового массива, а затем уточнить процентное содержание частичного закрепления по результатам совместного расчета системы «основание – фундамент – здание».

2. Впервые получены результаты экспериментальных исследований деформативности просадочных грунтов, закрепленных раствором повышенной проникающей способности;

3. Усовершенствована методика определения коэффициента жесткости основания при частичном закреплении просадочного грунта, учитывающая неоднородность и напряженное состояние грунтового массива не только по глубине, но и в плане.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались: экспериментальные методы определения деформативности грунта и вязкости закрепляющего раствора; методы определения деформаций основания на основе решений теории упругости; численные методы определения (НДС) системы «основание – фундамент – здание» методом конечных элементов; методы расчета конструкций на деформируемом основании с использованием контактных моделей грунтового основания.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке:

- рецептуры инъекционного раствора на основе активной кремниевой кислоты с применением анионоактивного полиакриламида Eсofloc, позволяющего увеличить радиус закрепления грунта и таким образом снизить количество точек инъекций;

- метода частичного закрепления просадочного грунта, обеспечивающего снижение усилий в конструкциях здания и неравномерных деформаций основания до допустимого уровня;

- рекомендаций по технологии частичного закрепления просадочного грунта.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании новых и реконструируемых зданий на просадочных грунтах.

На защиту выносятся:

- методика расчета бескаркасных зданий, позволяющая предварительно определить рациональную схему частичного закрепления просадочного грунта по допустимым неравномерным деформациям основания, вызванным реализацией остаточных просадочных деформаций с учетом инженерно-геологического строения массива грунта, действия внешних нагрузок и произвольных наиболее неблагоприятных схем увлажнения (замачивания) грунтового массива;

- результаты экспериментальных исследований деформативности просадочных грунтов, закрепленных раствором повышенной проникающей способности;

- методика определения коэффициента жесткости основания при частичном закреплении просадочного грунта, учитывающая напряженное состояние грунтового массива как в плане, так и по глубине.

Внедрение результатов работы. Положения и результаты настоящей работы использовались: при выполнении частичного закрепления основания фундаментов здания поликлиники ИНВХ им. В.К. Гусака в г. Донецке; при разработке проекта усиления основания и конструкций здания ДЮСШ №2, расположенного по ул. Кронштадская, 11а в г. Мариуполь; при реконструкции здания школы ОШ № 12 по ул. Ярославского, 5а в г. Иловайск.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечена: применением стандартных методик определения физико-механических характеристик грунта; определением НДС конструкций зданий и сооружений с использованием методов теории взаимодействия конструкций с деформируемым основанием и сертифицированного программного обеспечения; удовлетворительной сходимостью результатов численных исследований и результатов натурных обследований.

Апробация результатов. Основные положения диссертационной работы докладывались автором на: V международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» (Москва, 2016 г.); на XVIII Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строитель-

ство – формирование среды жизнедеятельности» (Москва, 2017 г.); I Международном строительном форуме «Строительство и архитектура-2017» (Макеевка, 2017 г.); на научно-практических конференциях Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (Макеевка, 2014-2017 гг.); на научных семинарах кафедр «Основания, фундаменты и подземные сооружения» и «Техносферная безопасность» (Макеевка, 2014-2017 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 1 работа – в специализированном научном издании, рекомендованном МОН Украины, 4 работы – в рецензируемых научных изданиях, утвержденных перечнем ВАК МОН ДНР, 6 работ – в сборниках трудов международных и региональных научно-практических конференций и в других изданиях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, основных выводов и рекомендаций, библиографического списка из 166 наименований, приложений. Содержит 217 страниц, в том числе 150 страниц основного текста, 18 страниц списка использованной литературы, 67 рисунков, 28 таблиц и 33 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследования, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлена общая характеристика работы.

Первый раздел посвящен анализу состояния вопроса и уровня научных достижений в области обеспечения надежности фундаментов бескаркасных зданий, эксплуатируемых на просадочных грунтах.

Показано, что любой строительный объект представляет собой многокомпонентную систему взаимодействующих элементов «основание – фундамент – здание», напряженно-деформированное состояние которых зависит от жесткостных характеристик всех элементов системы.

Рассмотрены особенности просадочных грунтов и способы моделирования просадочных деформаций при расчете системы «здание-фундамент-просадочный грунт».

Расчёту просадочных грунтов МКЭ посвящены работы: С.Н. Клепикова, Д.М. Подольского, А.И. Маркова, и В.И. Гупаленко и др.

Инженерные (аналитические) методы определения просадочных деформаций рассмотрены в работах Абелева М.Ю., Гильмана Я.Д. Гольдштейна М.Н., Григорян А.А., Крутова В.И., Мустафаева А.А., Тер-Мартиросяна З.Г., Цытовича Н.А., и др.

Показано, что несмотря на значительное развитие конечно-элементных моделей грунтового основания применение аналитических методов определения просадочных деформаций по-прежнему остается актуальным.

Исследованием изменения НДС просадочного грунта при наличии локальных областей замачивания посвящены работы И.П. Бойко, С.Н. Клепикова, В.И. Крутова, А.И. Маркова, В.А. Межеревского, и других авторов.

Вопросы расчета взаимодействия бескаркасных зданий с деформируемым основанием рассмотрены в работах Ю.М. Абелева, В.А. Банаха, Б.Ф. Галая, Б.А. Гарагаша, Я.Д. Гильмана, О.С. Городецкого, Е.В. Емец С.Н. Клепикова, Н.С. Метелюка, А.А. Мустафаева, А.А. Петракова, А.С. Трегуба, П.П. Шагина, А.Г. Шашкина, К.Г. Шашкина, В.С. Шокарева, В.Г. Шаповала, В.В. Яркина, и других авторов.

Показано, что при расчете системы «здание – фундамент – основание» моделирование просадочных деформаций грунта от действия внешних нагрузок и от действия собственного веса грунта необходимо производить по принципиально отличающимся методикам.

Выполнен анализ существующих методов увеличения жесткости просадочного основания и устранения его просадочных свойств с целью снижения дополнительных усилий в конструкциях здания, вызванных неравномерными деформациями основания. При этом особое внимание уделено инъекционным методам закрепления так как различные методы поверхностного и глубинного уплотнения в условиях уже застроенной территории как правило не применимы. Определены пути возможного снижения затрат на закрепление просадочного основания инъекционными методами исходя из максимально эффективного использования жесткости и прочности основных несущих конструкций здания.

На основе анализа и обобщения известных исследований обоснованы целесообразность и актуальность выполнения этой работы, сформулированы цель и задачи исследований.

Второй раздел посвящен определению жесткостных характеристик просадочного грунта, закрепленного раствором повышенной проникающей способности. При этом были решены следующие задачи:

- подобрана рациональная рецептура закрепляющего раствора повышенной проникающей способности;
- экспериментально исследованы деформационные характеристики просадочных грунтов, закрепленных различными инъекционными растворами;
- предложена методика определения приведенного модуля деформации частично закрепленного просадочного грунта с учетом его напряженного состояния.

Отличительной особенностью разработанного раствора активной кремниевой кислоты является наличие в нем 0,05% водного раствора анионоактивного полиакриламида Есофлос (ПАА) (ТУ 2414-002-74301823-2007), с помощью которого производилась стабилизация полученного золя активной кремниевой кислоты. ПАА способствует дегидратации грунтового основания, а также уменьшает сопротивление грунтов при насыщении его полученным раствором за счет присутствия эффекта Томса. Полученные результаты реакций с различными кислотами показали, что образование золя кремниевой кислоты предпочтительней со слабыми кислотами или солями кислот, об этом свидетельствуют и результаты вязкости, и время гелеобразования. В качестве закрепляющего состава, на основании критериев отбора, был выбран золь кремниевой кислоты, полученный при реакции раствора силиката натрия (жидкого стекла) с сульфатом аммония. Для того чтобы избежать гелеобразования, полученный золь разбавляли в соотношении 1:2 с водным раствором анионоактивного полиакриламида Есофлос. В результате был получен раствор активной кремниевой кислоты с 2% содержанием оксида кремния.

Определение тиксотропных характеристик (динамической вязкости) закрепляющих растворов производилось в запатентованной автором установке (рис. 1), позволяющей получить данные вязкости в динамическом режиме при движении среды.



Рис. 1. Экспериментальная установка по оценке тиксотропных характеристик закрепляющего раствора.

Эксперимент по подбору рецептур инъекционного раствора проводился в два этапа. Первый этап заключался в разработке композиционного состава закрепляющего раствора и проводился с использованием метода Бейлиса. Метод заключается в смешивании раствора жидкого стекла с раствором реагента с последующим снижением его щелочности на 85%. При появлении золя кремниевой кислоты выполняется его «заморозка» за счет добавления воды до определенной концентрации оксида кремния SiO_2 . «Заморозка» активной кремниевой кислоты проводилась добавлением 2-х частей воды к 1-й части золя. Определение щелочности проводилась методом титрования.

Критерием положительного прохождения эксперимента служило образование золя активной кремниевой кислоты. При этом фиксировались такие параметры, как время золеобразования, (мин), и кинематическая вязкость полученного золя, ($\text{мм}^2/\text{с}$).

На втором этапе был проведен ряд экспериментов для получения золь активной кремниевой кислоты с «заморозкой» его раствором ПАА, который служит для снижения сопротивления проникновения раствора в грунте, дегидратации грунта и, как следствие, улучшения характеристик закрепленного грунта. В тоже время улучшается дегидратация грунтового основания и увеличивается скорость фильтрации жидкости.

Для определения реагентов раствора были проведены испытания:

- по закрепляющим растворам (жидкое стекло, раствор жидкого стекла 3:1, золь кремниевой кислоты 0,5% SiO_2 , золь кремниевой кислоты 1% SiO_2 , золь кремниевой кислоты 2% SiO_2) при различных его температурах (рис. 2).

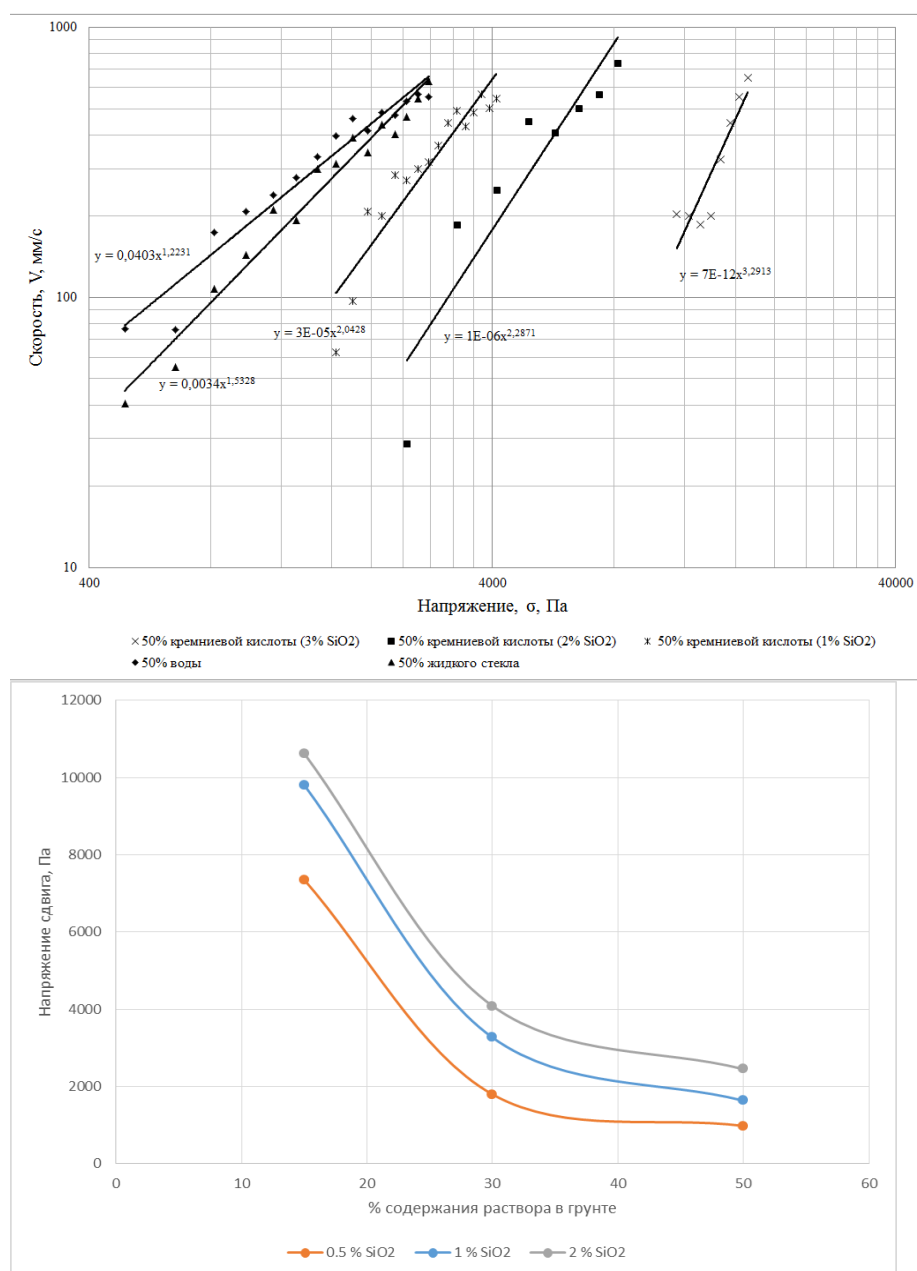


Рис. 2. Зависимость скорости от напряжения при различных закрепляющих составах в грунте при 50%-ом отношении.

Рис. 3. Зависимость напряжения сдвига от процентного содержания раствора в грунте при разных концентрациях SiO_2 в растворе.

Результаты экспериментов показали, что раствор разработанного состава обладает большей текучестью в сравнении с жидким стеклом. Динамическая вязкость ниже на 28-33%, а кинематическая в 12 раз.

Определение модуля деформации просадочного грунта (без закрепления и закрепленного разработанным раствором) производилось в компрессионном приборе КПр-1 по стандартной методике. Определение просадочных характеристик выполнялось методом одной кривой. Зависимость относительной деформации закрепленного и незакрепленного грунта от давления (рис. 4).

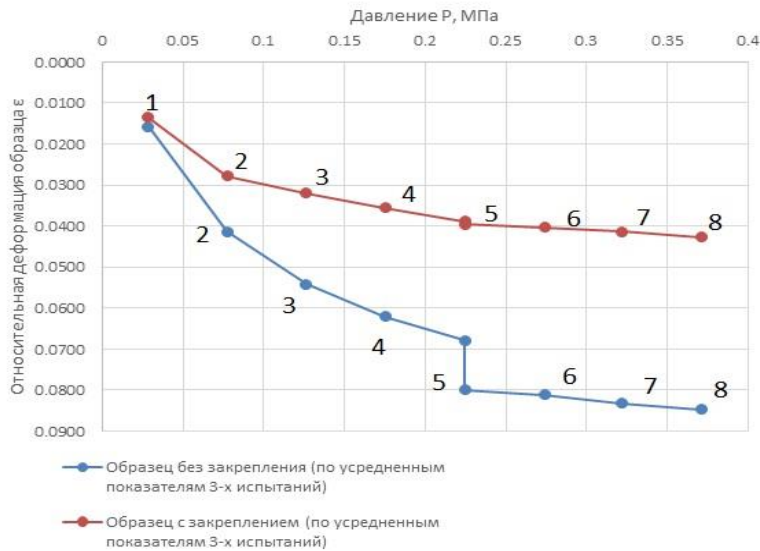


Рис. 4. Зависимость относительной деформации от давления закрепленного и незакрепленного грунта: 1-9 — этапы нагружения образца грунта на приборе КПр-1.

Экспериментально установлено, что модуль деформации закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии незначительно отличается от модуля деформации грунта при природной влажности, не превышающей начальной просадочной влажности. При этом полностью устраняются просадочные свойства грунта и практически устраняется изменчивость сжимаемости грунта при водонасыщении.

Повышение жесткости основания в зоне закрепления обусловлено устранением просадочных свойств и незначительным увеличением модуля деформации грунта.

Так как сплошное закрепление просадочного грунта в основании фундаментов приводит к недоиспользованию прочности и жесткости несущих конструкций здания предложено частичное закрепление просадочного грунта не только по глубине, но и в плане. При этом формирование зон локального закрепления может осуществляться с использованием модульной системы, в которой за модуль принята одна заходка процесса локального закрепления, обусловленная рабочей зоной иньектора, принятой равной 1 м, и радиусом распространения закрепляющего раствора от оси иньектора (рис. 5).

Для определения коэффициента жесткости основания из частично закрепленного просадочного грунта предложено определение приведенного модуля деформации с учетом его напряженного состояния (рис. 6).

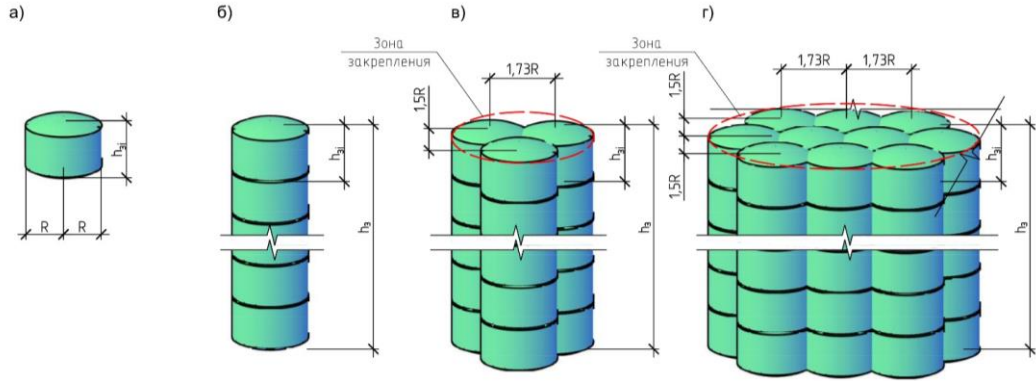


Рис. 5. Зоны локального закрепления из модульных элементов:

- а) модуль локального усиления; б) модульный столб локального закрепления из $n=i$ модулей; в) зона локального закрепления из 3-х модульных столбов; г) зона локального закрепления из $n=i$ количества столбов.

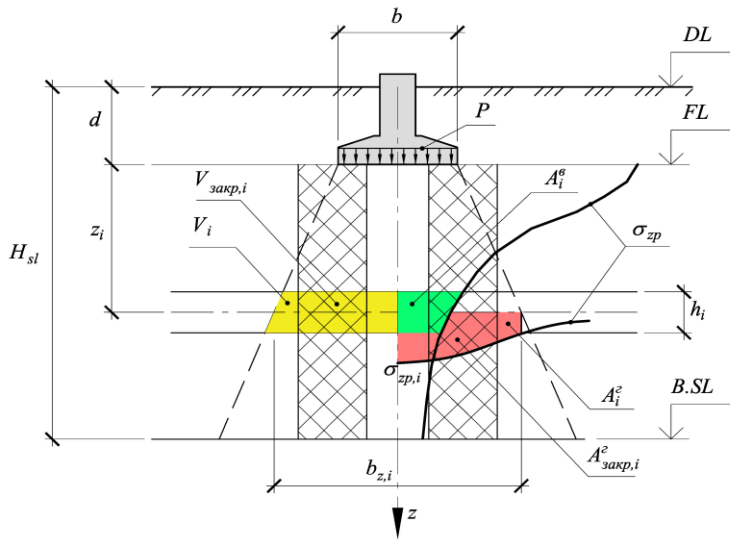


Рис. 6. Расчетная схема для определения приведенного модуля деформации в пределах элементарного i -того слоя грунта в основании ленточно-го фундамента.

Приведенный модуль деформации грунта при частичном закреплении определяется по формулам:

- в пределах элементарного i -того слоя грунта

$$E_{np,i} = \frac{E_{zakr,i} \cdot V_{zakr,i} \cdot A_{zakr,i}^2 + E_i \cdot (V_i - V_{zakr,i}) \cdot (A_i^2 - A_{zakr,i}^2)}{V_i \cdot A_i^2}, \quad (1)$$

где $E_{zakr,i}$, E_i – модули деформации соответственно закрепленного и незакрепленного грунта;

V_i – объем грунта, воспринимающего внешнюю нагрузку в i -том элементарном слое; $V_{zakr,i}$ – объем закрепленного грунта в объеме V_i ;

A_i^2 – площадь эпюры вертикальных напряжений от внешней нагрузки σ_{zp} в горизонтальном сечении на глубине z_i в пределах условной ширины фундамента $b_{z,i}$;

$A_{zakr,i}^2$ – площадь эпюры вертикальных напряжений от внешней нагрузки σ_{zp} в горизонтальном сечении на глубине z_i соответствующая закрепленному грунту в пределах условной ширины фундамента $b_{z,i}$.

Условная ширина ленточного фундамента на глубине z_i определяется по формуле

$$b_{z,i} = \frac{b \cdot P}{\sigma_{zp,i}}. \quad (2)$$

Объем грунта, воспринимающего внешнюю нагрузку, в i -том элементарном слое для ленточного фундамента $V_i = b_{z,i} \cdot h_i \cdot 1$.

Объем закрепленного грунта принимается в соответствии с принятой схемой частичного закрепления.

- в пределах сжимаемой или просадочной толщи грунта

$$E_{np} = \frac{\sum_1^n E_{np,i} \cdot A_i^e}{\sum_1^n A_i^e}, \quad (3)$$

где A_i^e – площадь эпюры вертикальных напряжений от внешней нагрузки σ_{zp} в вертикальном сечении в пределах i -того элементарного слоя.

Осадка и просадка частично закрепленного основания определяются методом послойного суммирования с использованием приведенного модуля деформации для каждого элементарного слоя $E_{np,i}$. При определении осадки модули деформации закрепленного и незакрепленного грунта принимаются в состоянии природной влажности, а при определении просадки модули деформации закрепленного и незакрепленного грунта принимаются в водонасыщенном состоянии (в соответствии с зоной обводнения). За величину просадки от внешней нагрузки можно принимать разницу осадок, определенных для водонасыщенного состояния грунта и состояния природной влажности.

Коэффициенты жесткости просадочного основания определяются без учета и с учетом просадочных свойств грунтов, исходя из двух состояний просадочных грунтов по влажности.

Для грунтовых условий I типа по просадочности при условии, что верхняя зона просадки $h_{sl,p}$ не превышает сжимаемой толщи H_c коэффициент жесткости частично закрепленного основания допускается определять по формуле

$$C_z = \frac{E_{np}}{\beta \cdot H_c}. \quad (4)$$

В третьем разделе приведена методика численного моделирования системы «здание – фундамент – просадочное основание» при частичном закреплении основания на основании полученных деформационных характеристик закрепленного грунта. В соответствии с приведенной методикой выполнен анализ НДС фрагмента стены бескаркасного здания, взаимодействующего с основанием из частично закрепленного просадочного грунта.

В качестве основных положений численного моделирования приняты следующие:

- решение задачи выполняется методом конечных элементов (МКЭ);
- в качестве модели основания принимается модель переменного коэффициента жесткости по Клепикову С.Н.;
- коэффициент жесткости основания назначается для каждого участка основания дифференцированно в зависимости от ожидаемых осадок и просадок по вертикали, проходящей через его центр, определенных с учетом влияния остальных участков загруженного основания, а также приведенных деформационных характеристик частично закрепленного основания. Расчет выполняется методом последовательных приближений путем уточнения на последующих этапах величин коэффициента жесткости на каждом участке дискретного основания с учетом полученных реактивных давлений.

Рассмотрены две общепринятые наиболее неблагоприятные схемы локального замачивания просадочного грунта: по середине наружной продольной стены здания и на углу наружной продольной стены здания.

Схемы изменения жесткости основания при его местном замачивании принимались по линейному закону от минимального $C_{z,1}$ до максимального C_z значений коэффициентов жесткости, определяемых по формулам 5:

$$C_z = \frac{P}{s}, \quad C_{z,1} = \frac{P}{s + s_{sl,p}}, \quad (5)$$

где P – среднее давление по подошве фундамента;

s – осадка основания от внешней нагрузки, определяемая без учета просадочных свойств грунтов как для обычных условий строительства;

$s_{sl,p}$ – просадка грунта от внешней нагрузки (в зоне $h_{sl,p}$).

При этом рассматривались следующие варианты частичного закрепления просадочного грунта:

- частичное закрепление основания по высоте на 50, 75 и 100% от просадочной толщи;
- частичное (прерывистое) закрепление основания в плане, преимущественно под простенками, в местах резких перепадов нагрузок и мощности просадочной толщи (рис. 7).

Коэффициент жесткости частично закрепленного по высоте просадочного основания определялся по приведенной в разделе 2 методике с использованием программного обеспечения Descon, разработанного Ярким В.В. Расчетные схемы представлены на рис. 8.

По результатам численного моделирования определены основные зависимости НДС наиболее напряженных конструкций фрагмента стены здания от величины частичного закрепления основания (рис. 9, 10).

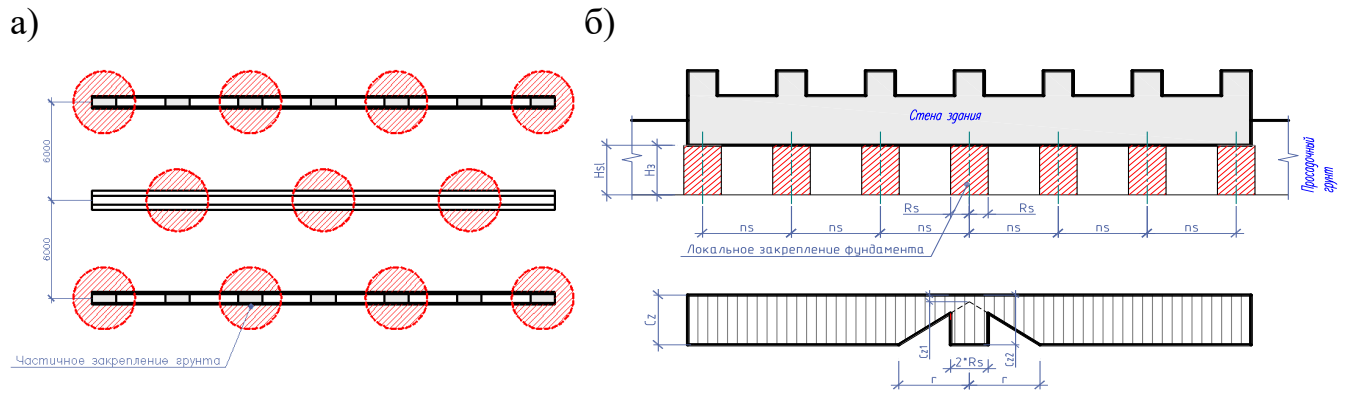


Рис. 7. Расчетная схема частичного (прерывистого) закрепления просадочного грунта на фрагменте здания: а – в плане; б – в разрезе.

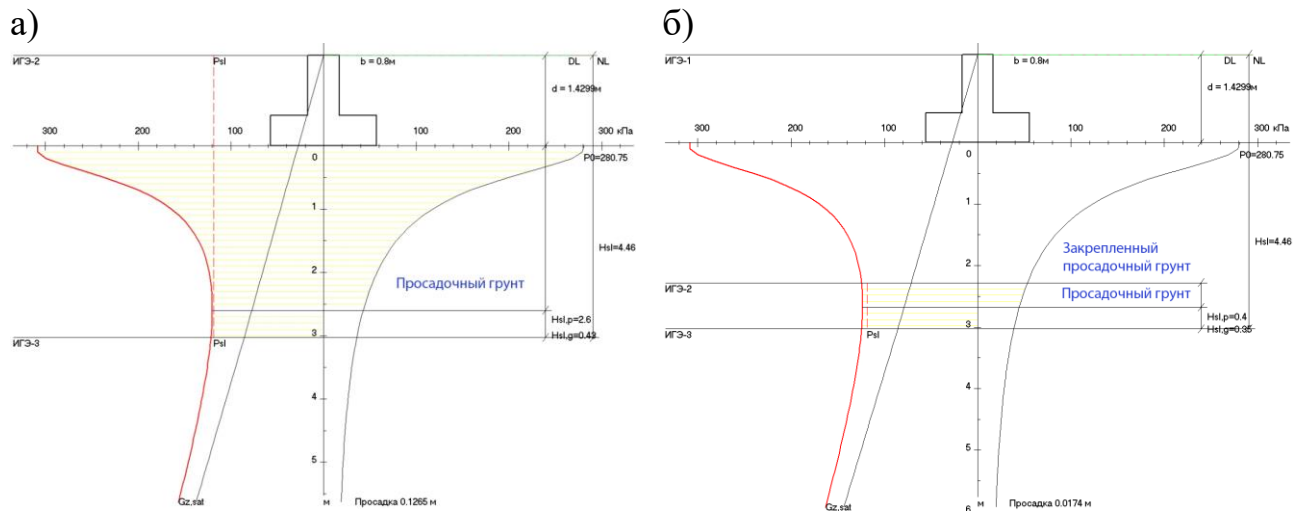


Рис. 8. Расчетная схема для определения просадки под элементом фундамента: а – без закрепления основания; б – с частичным закреплением на 75% от просадочной толщи.

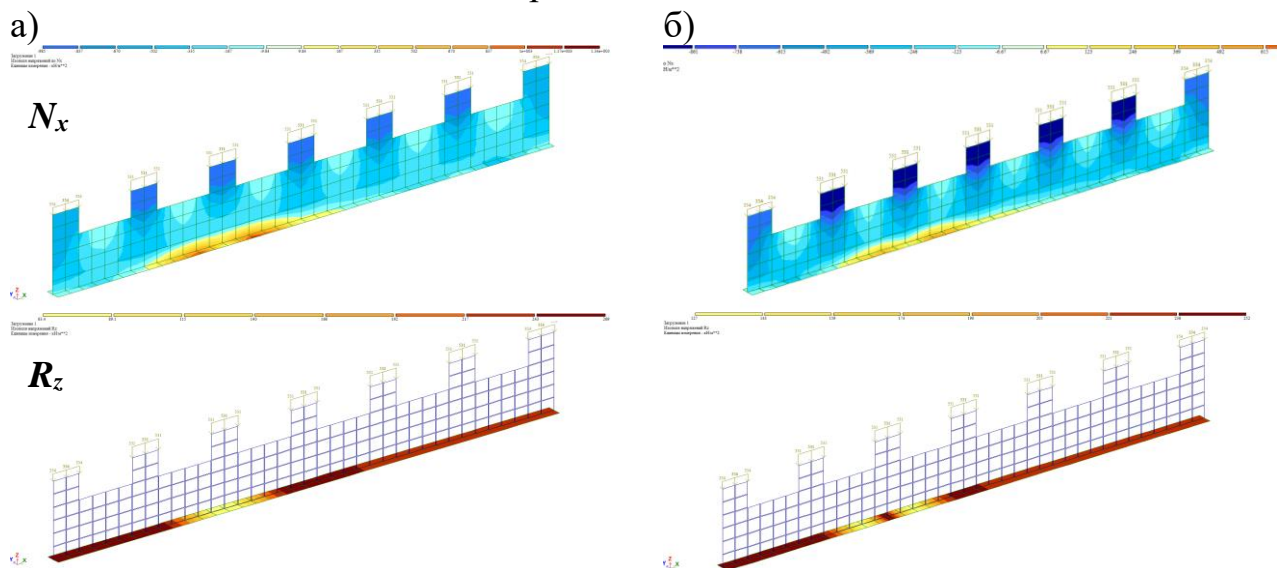


Рис. 9. Изополя горизонтальных напряжений в стене и давлений по подошве фундамента при локальной просадке: а – без закрепления грунта; б) при частичном закреплении грунта.

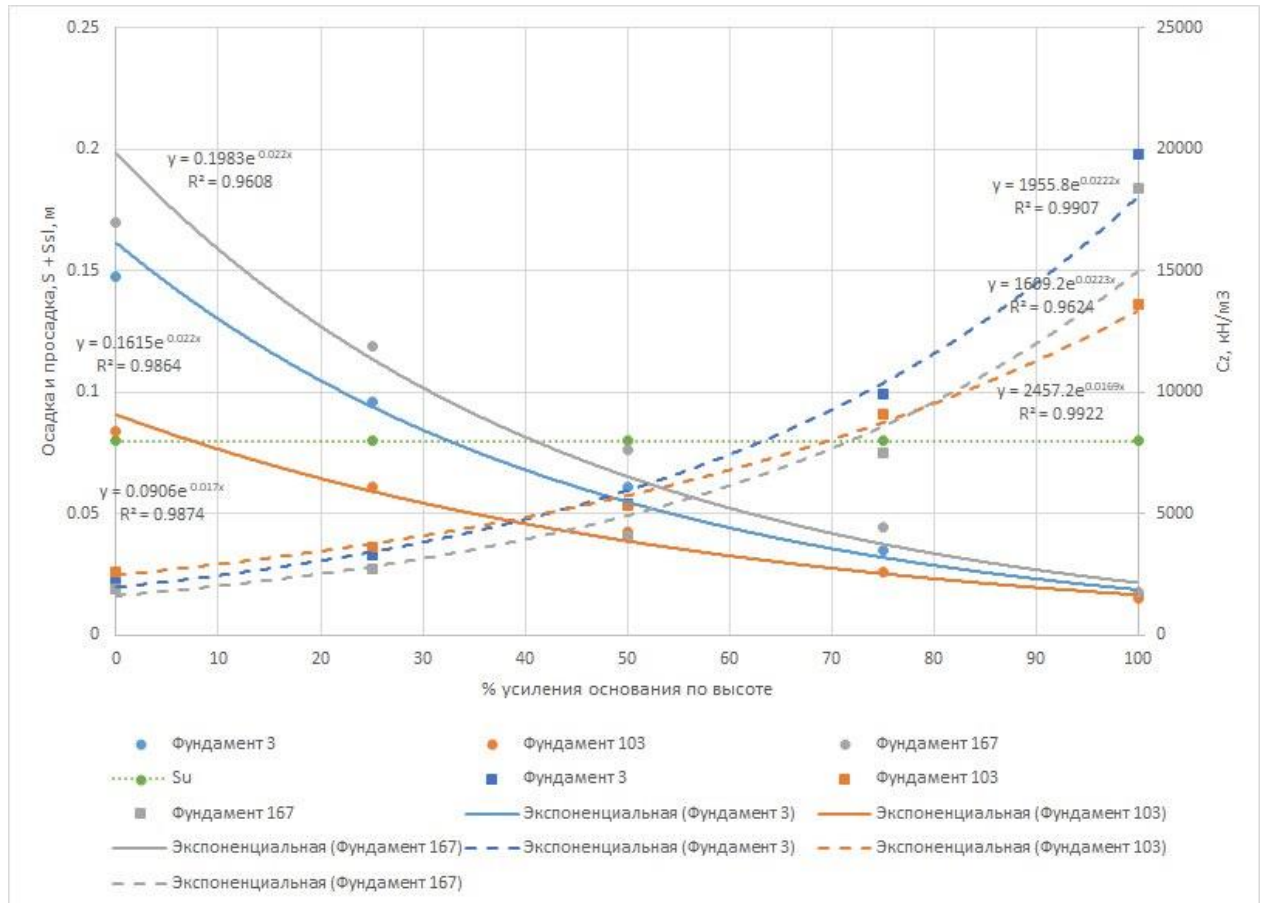


Рис. 10. Зависимость осадки, просадки и коэффициентов жесткости для элементов фундамента при различных значениях закрепления основания.

В четвертом разделе Выполнены численные исследования НДС бескаркасного здания, взаимодействующего с просадочным основанием при его частичном закреплении на примере здание школы №3 в г. Мариуполе. Здание представляет собой трехэтажное бескаркасное здание сложной формы в плане. Несмотря на большую протяженность здания > 70 м и сложную форму в плане в здании отсутствуют деформационные швы. При этом в связи с большим перепадом рельефа фундаменты имеют различную глубину заложения, в результате чего на небольшом участке они полностью пререзают просадочную толщу (рис. 11,а). На остальных участках мощность просадочного слоя (ИГЭ-3) под подошвой фундамента изменяется от 0 до 1,2 м. Площадка относится к I типу по просадочности, так как просадки от собственного веса грунта отсутствуют.

Максимальные вертикальные деформации основания с учетом просадок от внешней нагрузки составляют 11,4 см и не превышают предельно допустимого значения, однако неравномерность деформаций по длине ленточных фундаментов существенно превышает предельно допустимые значения (рис. 11,б).

При этом, несмотря на небольшую величину просадочных деформаций и даже при равномерном замачивании просадочных грунтов происходит резкая

концентрация дополнительных усилий, сопровождающаяся разломом в стенах над участком фундамента, опирающегося на непросадочные грунты.

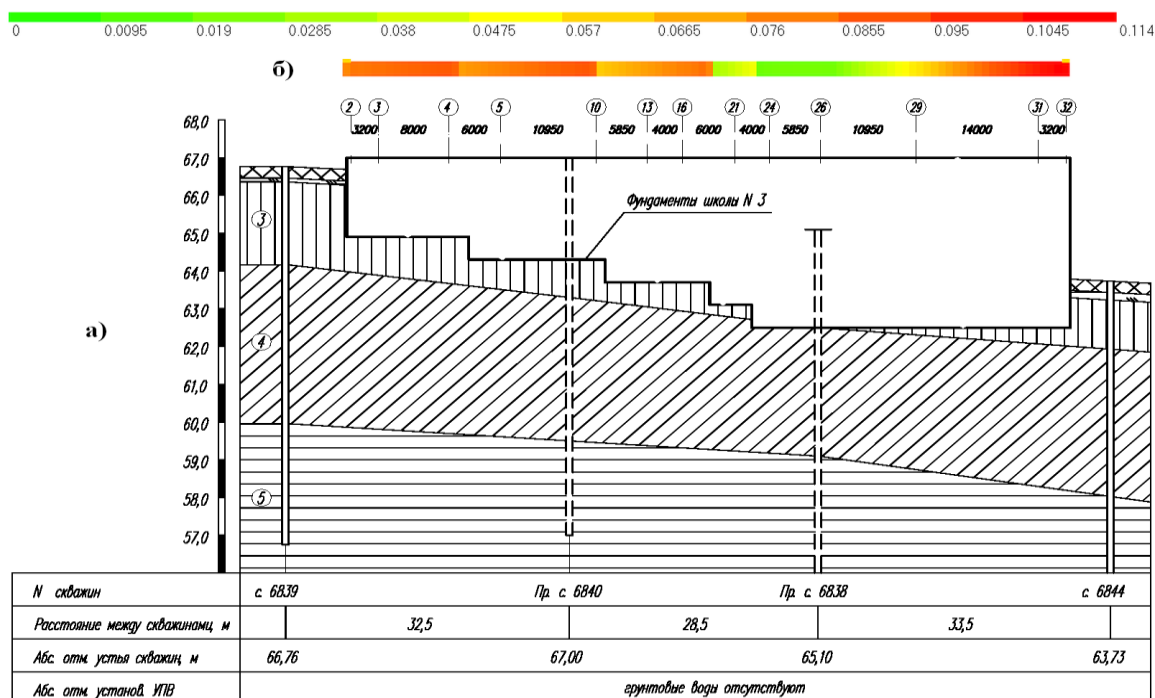


Рис. 11. Инженерно-геологический разрез вдоль главного фасада школы:
 а – инженерно-геологический разрез вдоль главного фасада школы;
 б – изополя вертикальных деформаций основания по длине фундамента.

Учитывая небольшую толщину просадочного слоя была принята схема закрепления по глубине на всю просадочную толщу, а в плане прерывистое закрепление (25%, 50%, 62% и 100%). При этом закрепленные зоны располагались под простенками здания (рис. 12).

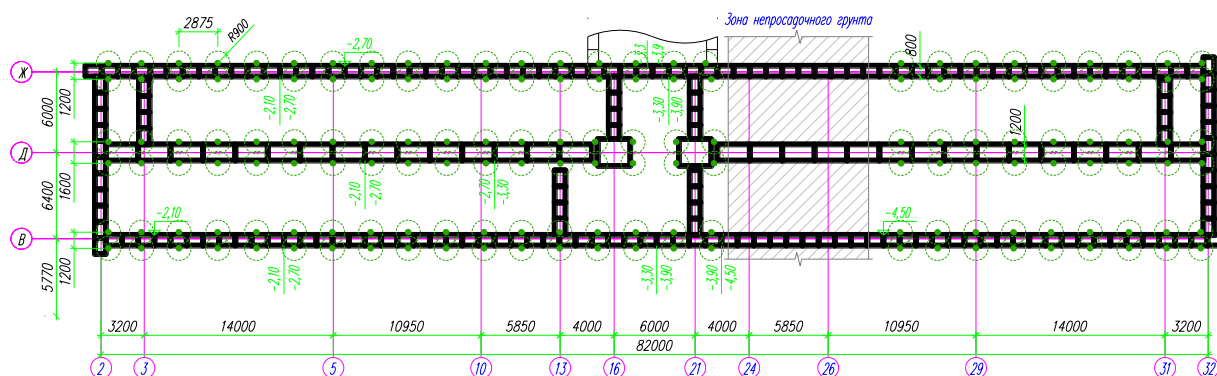


Рис. 12. План зон локального закрепления оснований фундаментов.

На основе численного моделирования НДС конструкций здания в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013 и моделировании коэффициента жесткости основания при локальном закреплении в плане и по высоте в ПО Descon были получены результаты часть из которых приведена на рис. 13, 14.

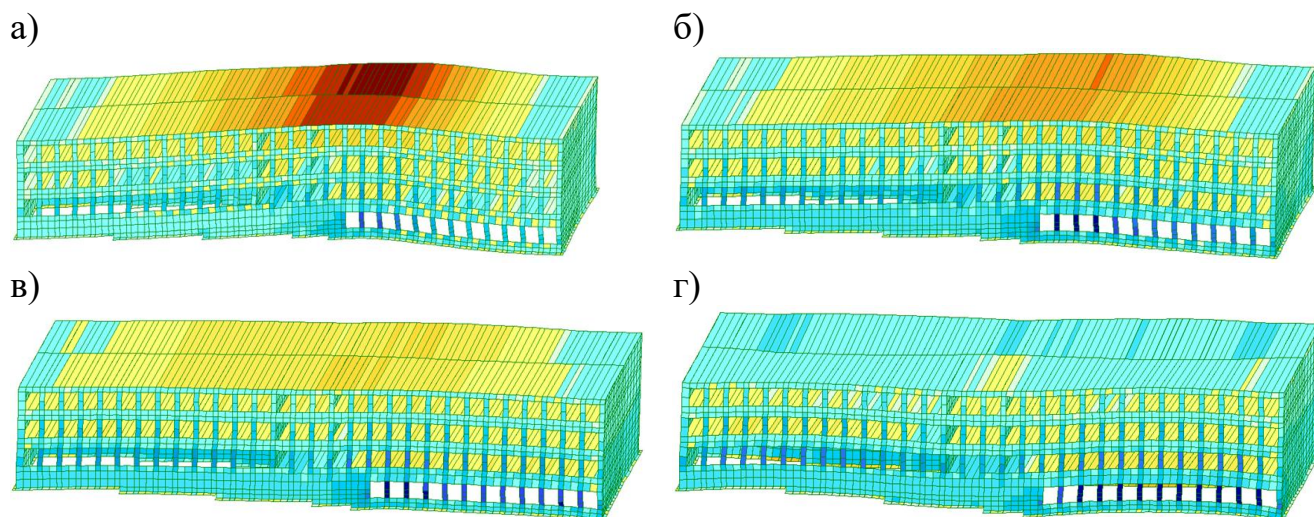


Рис. 13. Изополя горизонтальных напряжений в конструкциях здания школы №3 при равномерном замачивании:
а – без закрепления; б – с частичным 25 % закреплением в плане; в – с частичным 50 % закреплением в плане; г – со сплошным 100 % закреплением в плане.

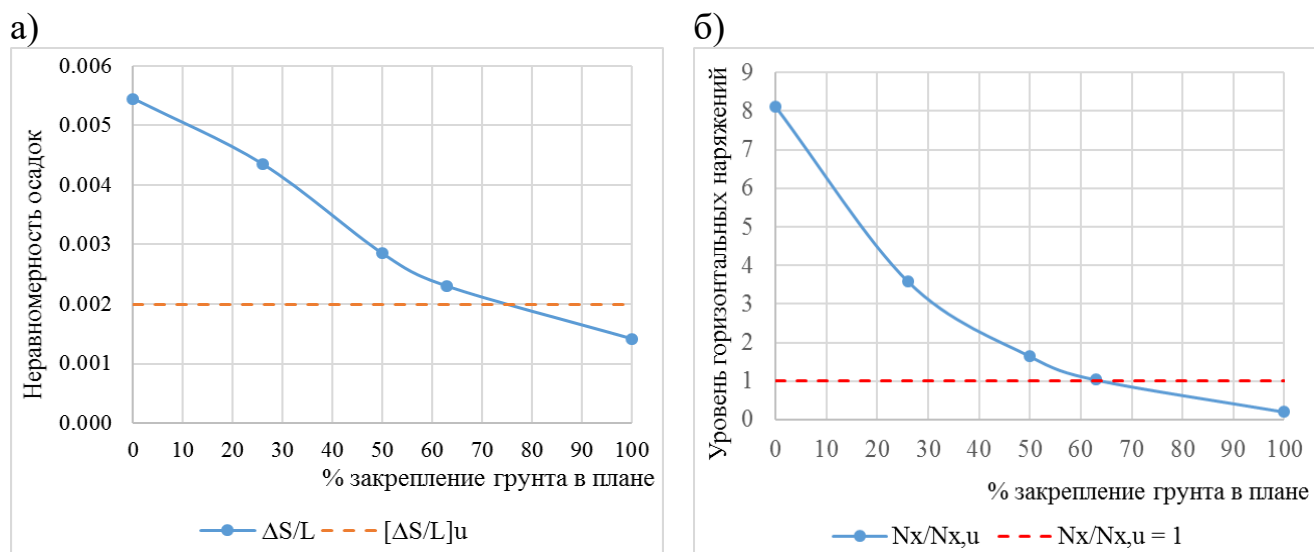


Рис. 14. Влияние частичного закрепления на НДС здания: а – неравномерность осадок фундаментов, без учета жесткости здания; б – уровень горизонтальных напряжений в наиболее растянутом элементе

Полученные результаты горизонтальных растягивающих напряжений в стенах здания для незакрепленного основания качественно соответствуют схеме трещинообразования, выявленной при его натурном обследовании.

Технико-экономическое сравнение частичного закрепления грунта разработанным составом и сплошного закрепления жидким стеклом в табл. 1.

Таблица 1

Технико-экономическое сравнение вариантов

| Характеристики | Раствор золя кремниевой кислоты с ПАА | Раствор жидкого стекла |
|---|---------------------------------------|------------------------|
| Количество инъекционных скважин, шт. | 156 | 510 |
| Объем закрепленного массива от одной скважины, м ³ | 2,55 | 1,47 |
| Объем раствора на одну скважину, л | 638 | 370 |
| Объем закрепленного массива грунта, м ³ | 397,8 | 749,7 |
| Общий расход раствора, м ³ | 99,53 | 188,70 |
| Стоимость 1 м ³ закрепленного массива, руб. | 3 054,00 | 4 639,00 |
| Общая стоимость закрепленного массива, руб. | 1 214 629,00 | 3 475 610,00 |
| Экономия, % | 65 | |

Таким образом, экономический эффект закрепления 1 м³ грунтового массива по предлагаемой методике частичного закрепления просадочных грунтов вместо традиционно применяемого способа сплошного закрепления раствором силиката натрия составляет:

$$\Delta = 4639,00 - 3054,00 = 1585,00 \text{ руб./м}^3$$

Применяемые в составе предложенного закрепляющего раствора компоненты являются доступными и распространенными, а метод частичного закрепления снижает расход материалов и трудоемкость работ, что придает предложенной методике высокую конкурирующую способность.

В пятом разделе определена область применения метода частичного закрепления просадочного основания под фундаментами бескаркасных зданий, разработаны и даны рекомендации по расчету, проектированию и технологии выполнения работ по частичному закреплению просадочного основания. Разработаны рекомендации по подготовке закрепляющего раствора повышенной проникающей способности. Приведено применяемое оборудование при производстве работ, основные его характеристики. Рассмотрены основные критерии технологического процесса и технологические схемы закрепления просадочного основания для различных конструктивных решений фундаментов. Освещены основные требования по технике безопасности при производстве работ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Полученные в работе результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют утверждать, что поставленная цель по установлению влияния частичного закрепления просадочного грунта основания в плане и по глубине на НДС бескаркасных зданий достигнута.

2. Теоретически обоснована целесообразность частичного закрепления просадочного грунта для бескаркасных зданий, у которых при полном устранении просадочности грунтов основания фундаментов несущие конструкции имеют существенный неиспользуемый потенциал прочности и жесткости.

3. Разработан и экспериментально исследован закрепляющий состав на основе активной кремниевой кислоты из доступных и распространенных в производстве материалов. Вязкость предложенного раствора в 12,3 раза меньше вязкости жидкого стекла, традиционно используемого при силикатизации, что позволяет увеличить радиус закрепления просадочного грунта от оси инъектора.

4. Экспериментально установлено, что модуль деформации закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии незначительно отличается от модуля деформации грунта при природной влажности, не превышающей начальной просадочной влажности. При этом полностью устраняются просадочные свойства грунта и изменчивость сжимаемости грунта при водонасыщении.

5. Установлена закономерность изменения коэффициента жесткости основания C_z от процента частичного закрепления просадочного основания по глубине. Полученная экспоненциальная зависимость показывает незначительное увеличение (на 30%) C_z при закреплении основания до 50%.

6. Предварительное определение рациональной схемы и процентного содержания частичного закрепления просадочного грунта без учета жесткости здания по допустимым неравномерным деформациям основания при наиболее неблагоприятных схемах замачивания, позволяет существенно уменьшить объем вычислительной работы и количество рассматриваемых вариантов при решении системы ОФС. Уточнение схемы частичного закрепления по результатам совместного расчета системы ОФС даже в линейной постановке позволяет дополнительно снизить процентное содержание закрепления на величину до 13% по сравнению с предварительной.

7. Выполненные численные исследования на фрагменте стены бескаркасного здания показали, что для обеспечения допустимого уровня напряжений в стене и допустимой неравномерности осадок в ряде случаев достаточно выполнения частичного закрепления просадочного грунта от 50% до 75%.

8. Результаты теоретического исследования НДС здания школы №3 в г. Мариуполе, полученные для незакрепленного основания, качественно соот-

ветствуют схеме трещинообразования, выявленной при его натурном обследовании.

9. Частичное закрепление просадочного грунта выполненное на примере школы №3 в г. Мариуполе разработанным закрепляющим составом позволило снизить затраты на 65 % по сравнению со сплошным (100%) закреплением традиционным раствором силиката натрия.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

– публикации в специализированных научных изданиях, рекомендованных МОН Украины:

1. Высоцкий С.П. Пути решения вопросов строительства в сложных инженерно-геологических условиях при помощи химических растворов [Текст] / С.П. Высоцкий, **А.В. Писаренко** // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДонНАБА, 2015. – Вип. 2015-5(115).- С. 82-87. *(Представлена характеристика просадочных грунтов, подрабатываемых территорий и тексотропных явлений).*

– публикации в рецензируемых научных изданиях, утвержденных перечнем ВАК МОН ДНР:

2. **Писаренко А.В.** Численное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций здания, взаимодействующего с просадочным основанием при его частичном закреплении [Электронный ресурс] / А.В. Писаренко, В.В. Яркин // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка: ДонНАСА, 2017. – Вып. 2017-3 (125). – С. 86-93 – Режим доступа :

[http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3\(125\).pdf](http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-3(125).pdf) *(Исследовано влияние частичного закрепления просадочного грунта на коэффициент жесткости основания и напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкций, взаимодействующих с деформируемым основанием).*

3. **Писаренко А.В.** Влияние частично закрепленного просадочного грунта на напряженно-деформируемое состояние конструкций [Электронный ресурс] / А.В. Писаренко // Современное промышленное и гражданское строительство – 2017. – Т. 13, № 2. – С. 103-110. Режим доступа : http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2017-2/05_pisarenko.pdf

4. **Писаренко А.В.** Анализ свойств закрепляющего раствора на основе активной кремниевой кислоты и полиакриламида для усиления просадочных грунтов [Электронный ресурс] / А.В. Писаренко, В.И. Братчун // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – Макеевка: ДоНАСА, 2017. – Вып. 2017-2(124) – С. 154-160. Режим доступа : [http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-2\(124\).pdf](http://www.donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-2(124).pdf) *(Выполнен подбор оптимального состава закрепляющего раствора на основе активной кремневой кислоты и полиакриламида).*

5. Высоцкий С.П. Методы увеличения структурной прочности грунтов [Текст] / С.П. Высоцкий, **А.В. Писаренко** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: науч.-техн. журн. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2017 № 4(54). Режим доступа : http://respirator.dnmchs.ru/uploads/images/Gallery/Institut/Sbornik_2017/sb_4_2017/6-Visotskiy_pisarenko.pdf (*Определены рациональные методы активации жидкого стекла*).

– публикации по материалам конференций и в других изданиях:

6. **Писаренко А.В.** Повышение надежности эксплуатации строительных сооружений за счет обработки почв химическими растворами [Текст] / А.В. Писаренко // Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: Материалы 4-й международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию строительного факультета и 85-летию БГИТУ. Т. 1 (Брянск, 1-2 декабря 2015). – Брянск: БГИТУ, 2015. – С. 275-279.

7. **Писаренко А.В.** Метод химического закрепления просадочного грунта коллоидным раствором на основе золя кремниевой кислоты с добавлением полиакриламида / А.В. Писаренко, В.В. Яркин, С.П. Высоцкий [Текст] // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сборник материалов международной научной конференции (Москва, 16–17 ноября 2016). – Москва: МГСУ, 2017. – С. 282-286. (*Разработан закрепляющий раствор на основе золя кремниевой кислоты из распространенных и доступных в производстве материалов таких как жидкое стекло и сульфат аммония с применением состава на основе полиакриламида*).

8. **Писаренко А.В.** Некоторые аспекты повышения прочности просадочных грунтов коллоидным раствором с добавлением полиакриламида [Текст] / А.В. Писаренко, В.В. Яркин, С.П. Высоцкий // Материалы II Брянского междунар. инновац. форума «Строительство-2016»: (Брянск, 1 декабря 2016) Т.1 /Брян. гос. инженер.-технол. ун-т и др.; ред. кол.: Н.П. Лукутцова, М.Ю. Прокуров, М.А. Сенющенко. – Брянск: БГИТУ, 2016. – С. 117-121. (*Проведены испытания закрепляющего раствора на основе золя кремниевой кислоты на модели грунта*).

9. **Писаренко А.В.** Разработка и оценка работы закрепляющего состава на основе активной кремниевой кислоты для просадочных грунтов [Электронный ресурс] / А.В. Писаренко, В.В. Яркин // Строительство – формирование среды жизнедеятельности [Электронный ресурс]: Сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных (Москва, 26-28 апреля 2017) /М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (73,7 Мб) — Москва: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017 — Москва: МГСУ, 2017 — С. 360-362. Режим доступа: <http://mgisu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/> (*На основании опытов получены зависимости перемещения частиц закрепленного грунта от создаваемого на него напряжения (давления)*).

10. **Писаренко А.В.** Повышение безопасности эксплуатации сооружений в сложных инженерных и геологических условиях [Текст] / А.В. Писаренко

// Вести Автомобильно-дорожного института. – Горловка: АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет, 2017 – №3 (22). – С. 44-53.

11. Высоцкий С.П. Закрепление слабых грунтов с использованием активированного силиката натрия [Текст] / С.П. Высоцкий **А.В. Писаренко** // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск: Луганский государственный университет имени Владимира Даля. – №2(2), 2016 – С. 28-31. *(Рассмотрено применение активированного силиката натрия в качестве добавки при закреплении просадочных грунтов)*.

АННОТАЦИЯ

Писаренко Анастасия Валериевна. Взаимодействие бескаркасных зданий с основанием из частично закрепленного просадочного грунта. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Макеевка. – 2017 г.

Диссертация посвящена исследованию влияния частичного закрепления просадочного грунта основания в плане и по глубине на напряженно-деформированное состояние (НДС) бескаркасных зданий.

Во введении обоснована актуальность, сформулирована научная новизна, практическая ценность работы, дана ее общая характеристика.

В первом разделе выполнен анализ состояния вопроса и уровня научных достижений в области обеспечения надежности фундаментов бескаркасных зданий, эксплуатируемых на просадочных грунтах.

Второй раздел посвящен определению жесткостных характеристик просадочного грунта, закрепленного раствором повышенной проникающей способности.

В третьем разделе предложена методика расчета зданий, взаимодействующих с основанием из частично закрепленного просадочного грунта, на основании полученных деформационных характеристик закрепленного грунта. Экспериментально установлено, что модуль деформации закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии изменяется достаточно для устранения просадочных свойств грунта и его сжимаемости грунта.

В четвертом разделе выполнены численные исследования НДС бескаркасного здания, взаимодействующего с просадочным основанием при его частичном закреплении. Выполненные численные исследования показали, что для обеспечения допустимого уровня напряжений в стене здания и допустимой неравномерности осадок достаточно выполнения частичного закрепления просадочного грунта от 50% до 75% от общего объема.

В пятом разделе определена область применения метода частичного закрепления просадочного основания под фундаментами бескаркасных зданий,

разработаны и даны рекомендации по расчету, проектированию и технологии выполнения работ по частичному закреплению просадочного основания.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке магистров по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе подготовки «Теория и проектирование зданий и сооружений» в дисциплине «Здания и сооружения в сложных инженерно-геологических и горно-геологических условиях».

Ключевые слова: просадочный грунт; напряженно-деформированное состояние; частичное закрепление просадочного грунта в плане и по глубине; композиционный состав закрепляющего раствора

ABSTRACT

Pisarenko Anastasia. **Interaction of frameless buildings with a base of partially anchored subsidence ground.** – Manuscript.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences degree in specialty 05.23.01 - Building structures, buildings and structures. – Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, 2017.

The thesis is devoted to the investigation of the effect of partial fixation of subsidence ground in the plan and in depth on the stress-strain state (VAT) of frameless buildings.

In the introduction, relevance is grounded, scientific novelty is formulated, the practical value of the work is given, and its general characteristic is given.

In the first section, the analysis of the state of the issue and the level of scientific achievements in the field of ensuring the reliability of foundations of frameless buildings operated on subsidence grounds is performed.

The second section is devoted to the determination of the stiffness characteristics of subsidence ground, fixed by a solution of increased penetrating power.

In the third section, a method is proposed for calculating buildings interacting with a base from a partially fixed subsidence ground, based on the obtained deformation characteristics of the anchored soil. It has been experimentally established that the modulus of deformation of the anchored soil in the water-saturated state varies sufficiently to eliminate the subsidence properties of the soil and its compressibility of the soil.

In the fourth section, numerical studies of the VAT of a frameless building interacting with a subsidence base with partial fixation are performed. Numerical studies have shown that to ensure the permissible level of stress in the wall of the building and the permissible unevenness of the sediments, it is sufficient to perform partial consolidation of the subsidence soil from 50% to 75% of the total volume.

In the fifth section, the area of application of the method of partial fixation of a subsidence base under the foundations of frameless buildings has been determined, and recommendations have been developed for calculating, designing, and implementing technology for partially securing the subsidence base.

The results of the studies are introduced into the educational process in the preparation of masters in the field of training 08.04.01 Construction under the training program - theory and design of buildings and structures in the discipline "Buildings and structures in complex engineering, geological and mining-geological conditions".

Key words: subsidence ground; stress-strain state; partial consolidation of subsidence in plan and depth; composite composition of fixing solution.