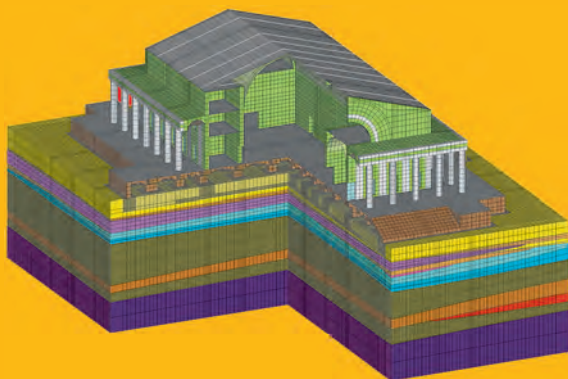


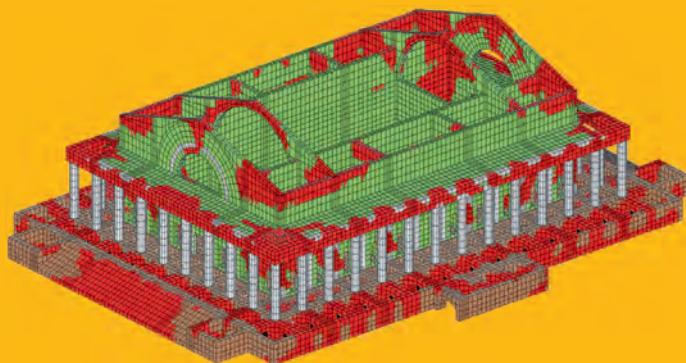


В.М. Улицкий
А.Г. Шашкин
К.Г. Шашкин

Гид по геотехнике

путеводитель по основаниям, фундаментам
и подземным сооружениям

издание
второе,
дополненное



Санкт-Петербург
2012

В.М. Улицкий
А.Г. Шашкин
К.Г. Шашкин

Гид по геотехнике
(путеводитель по основаниям,
фундаментам
и подземным сооружениям)

Издание второе, дополненное.

Санкт-Петербург
2012

ББК 26.3
Л.25
УДК 624.131 (023.11)

Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г.

Л.25 Гид по геотехнике (путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям)/ ПИ «Геореконструкция» – СПб. 2012. – 288 с.

ISBN 978-5-9902005-3-1

Во втором издании книги, обновленном и дополненном, популярно изложены основные разделы современной геотехники, науки, определяющей безопасность строительства, в том числе в сложных грунтах, какими являются грунты Северной столицы. В доступной форме повествуется об особенностях, с которыми, несомненно, встретятся все участники процесса создания и реализации любых проектов по строительству зданий и сооружений. Приводятся примеры и иллюстрации, свидетельствующие о том, что недоучет свойств грунтов и ошибочное расчетное геотехническое обоснование проекта ведут, как правило, к аварийным ситуациям и значимым потерям средств, а также к неопределенности в сроках отдачи немалых вложений.

Рецензенты – д.т.н., проф. В.Н. Парамонов (ПГУПС), к.т.н. М.Б. Лисюк (ISSMGE).

ISBN 978-5-9902005-3-1

© 2012, ПИ «Геореконструкция»

Предисловие ко второму изданию

Первое издание «Гида по геотехнике», вышедшее в свет в 2010 г., оказалось весьма популярным и разошлось гораздо быстрее, чем ожидали авторы. Книжка стала востребованной не только в кругу специалистов смежных специальностей и заказчиков, но и среди коллег-геотехников. Это побудило инициировать второе издание «Гида», которое авторы обновили и дополнили разделом, содержащим анализ геотехнических ошибок, совершенных в Санкт-Петербурге. Такой анализ всегда затруднен – виновники не спешат предоставлять достоверную информацию. Авторы «Гида», занимаясь экспертизой проектной документации, контролем состояния исторической застройки, накопили весьма любопытный фактический материал о последствиях принятия ошибочных геотехнических решений на ряде известных строек в Санкт-Петербурге. Работа над ошибками – наиболее продуктивный способ обучения. Как известно, умный учится на чужих ошибках.

Авторы надеются, что обновленный «Гид по геотехнике» будет полезен всем участникам строительного процесса.

С уважением,

*В.М. Улицкий
А.Г. Шашкин
К.Г. Шашкин*

**Введение,
из которого читатель узнает,
зачем ему нужна эта книга**

Если вы не можете объяснить вопрос простым языком, значит, вы не владеете вопросом.

Альберт Эйнштейн

Люди делятся на тех, кто делает работу и тех, кто приписывает это себе. Принадлежите к первой группе – там конкуренция меньше.

Индир Ганди

Уважаемый читатель!

Геотехнике посвящено множество умных книг. Написаны они преимущественно для геотехников. Нам же хотелось рассказать об этой сложной области изысканий, проектирования и строительства более широкой аудитории, в которой могут оказаться и архитекторы, и заказчики, и инвесторы.

Обычно инвестор достаточно точно может оценить сложность строительства объекта – от конструкций до отделки. Затруднение чаще всего вызывает определение стоимости подземной части здания. Особенно, если здание строится не на сравнительно благоприятных в строительном отношении грунтах Москвы, Лондона или Парижа, а на слабых грунтах Петербурга или Амстердама. Еще сложнее, если объект расположен в условиях плотной городской застройки – тут надо не только объект построить, но и окружающие здания не повредить.

Сразу оговоримся, что в этой небольшой книжке Вы не найдете рецептов умножения капитала. Не нам, геотехникам, давать Вам советы в этой области. Но мы могли бы Вам быть весьма по-

лезными в том, как не потерять деньги при устройстве фундаментов и подземных сооружений.

Вы знаете, что ошибка в определении цены строительства подземной части здания может очень дорого стоить. Она способна перечеркнуть весь бизнес-план и сделать объект убыточным.



Неграмотно устроенные фундаменты могут привести к катастрофическим результатам. При этом неважно, что Вы строите – небоскреб или маленький коттедж.

К не меньшим потерям могут привести и задержки, связанные с неправильной организацией процесса изысканий и проектирования. Опыт, накопленный во времена строительного бума, совсем не годится для периода кризиса и посткризисной эпохи. Раньше финансовые потери от управленческих ошибок не были столь ощутимы. Теперь же пришло время оптимизировать затра-

ты на весь строительный процесс. Пришло время делать ставку только на профессионалов.

В этой книжке мы постарались кратко изложить основы принятия управленческих решений в области изысканий, проектирования и строительства, а также основные приемы экспресс-оценки их качества. Здесь активно использован передовой зарубежный опыт, где любые архитектурные фантазии находятся в прямой увязке с конкретной геологией участка. Авторы настоящего «пособия» являются членами международных рабочих групп геотехников и знакомы с зарубежным опытом не «понаслышке». Мы вместе с нашими коллегами готовы как опытные лоцманы провести Ваш строительный бизнес через бушующее море питерских грунтов и неоднозначных нормативов, гарантируя успех самых сложных проектов.

Часть первая

*путешествие от изысканий
к проектированию*

НЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 1, объясняющая, что такое геотехника и нужна ли она инвестору

Знаменитый шведский геотехник профессор Свен Хансбо, на открытии международной конференции по геотехнике в Гамбурге, где собрались две сотни специалистов со всего мира, театрально запер дверь на ключ и страшным шепотом произнес:

– Внимание! Здесь мафия.

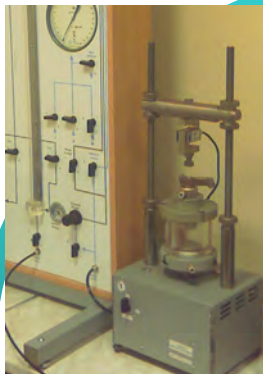
Аудитория заволновалась.

– Эта мафия – мы, – продолжил он. – Только мы с вами можем закопать в грунт любые деньги и никто нас не одернет.

Уважаемый читатель, профессор Хансбо, конечно же, пошутил. Это такой лекторский прием для того, чтобы расшевелить аудиторию. И геотехник вовсе не мафиози. Он, скорее, лоцман, проводящий строительный бизнес между Сциллой нерентабельности и Харибдой опасности для жизнедеятельности.

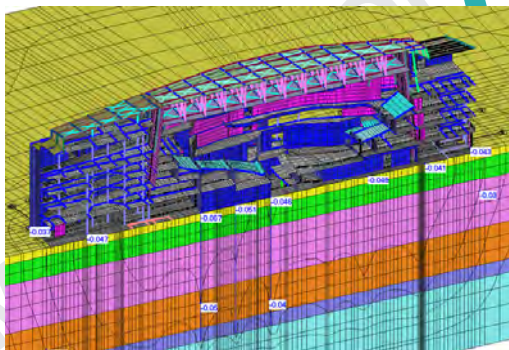
Геотехника – это область строительной деятельности, связанная с грунтами. В нашу эпоху разделения труда, когда каждую часть тела лечит специальный доктор, а больной в целом никому не интересен, геотехника представляет собой синтезирующую дисциплину. Геотехника объединяет и инженерную геологию, занимающуюся исследованием грунтов, и механику грунтов, создающую расчетные модели, и проектирование фундаментов и подземных сооружений (с учетом особенностей подземных конструкций), и технологию производства работ по их устройству, и, наконец, мониторинг за ведением этих работ.

Геотехника – это синтез



Инженерная
геология:
полевые и
лабораторные
испытания

Механика грунтов: сложные
расчеты и проектирование



Современные технологии
производства работ

Только синтез этих смежных дисциплин, называемый «геотехника», способен обеспечить искомый для инвестора результат: построить надежные фундаменты и подземное сооружение, а также здание в целом, сохранить окружающую застройку.

**Геотехника – это наука по управлению
строительными рисками.**

Фактически, геотехника – это наука по управлению строительными рисками.

Но совершенно недостаточно называться геотехником, чтобы быть им на самом деле. Сориентироваться инвестору в выборе

специалистов-геотехников поможет международная система, которой объединены все геотехники мира. Иерархия такова: существует Международное общество по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE), президентом которого до 2013 г. является профессор Жан Луи Бриё (США). В ISSMGE входят национальные геотехнические общества, в том числе Российское общество по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ), имеющее 50 региональных отделений. Из них Северо-Западное отделение, возглавляемое профессором В.М. Улицким, является вторым по числу членов после Московского.

В ISSMGE созданы технические комитеты, занимающиеся различными аспектами геотехнической деятельности. Россия является страной-хозяйкой одного из них – это ТК207 «Взаимодействие зданий и оснований. Подпорные стены» под руководством профессора В.М.Улицкого, К.Г.Шашкина и М.Б.Лисюка.



Здесь есть предмет для профессиональной гордости: это является фактом международного признания заслуг геотехнической школы, возглавляемой профессором В.М. Улицким.

За рубежом ни одному инвестору не придет в голову обратиться для решения геотехнических задач к лицу, не состоящему в обществе геотехников. Членство в обществе является признаком принадлежности к геотехнической специальности, хотя, конечно же, не является гарантией качества специалиста. Лучше, если организация, в которую обращается инвестор, является коллективным членом национального и международного общества (в России членом обоих обществ в настоящее время является только НИИОСП им. Н.М. Герсевича в Москве и «Геореконструкция» в Петербурге). Конечно же, числиться в обществе – почетно, это необходимо, но всё же – недостаточно.



Важно, чтобы лицо или организация, к которым обращается инвестор, смогли бы продемонстрировать хотя бы пару объектов-аналогов, сопоставимых по сложности с уровнем задач, которые

придется решать инвестору. При этом, уважаемый инвестор, не постесняйтесь удостовериться, какое отношение к рекламируемым объектам в действительности имеет это лицо или организация. Ибо, как известно, у победы всегда оказывается множество родителей, и только поражение – сирота.



Отчего так непохожи друг на друга Нью-Йорк и Санкт-Петербург? Ответ на эту загадку может дать только ГЕОТЕХНИК. Все объясняет триада: инженерная геология, механика грунтов и геотехнологии.

Геотехника – это точная наука.

Некоторые считают геотехнику искусством. А коли так, говорят они, то как в искусстве – сколько специалистов, столько мнений. Грунты, мол, дело темное. Уважаемый инвестор, остерегай-

тесь таких «специалистов», даже если они числятся в соответствующем обществе. Геотехника – это, прежде всего, точная наука. Овладение ею, конечно же, требует высокого мастерства, глубокого понимания грунтов, создания расчетных моделей, адекватных реальной работе массива грунта. Современный геотехник это тот, кто отлично знает поведение грунта как сложной природной среды и способен выполнить точный расчетный прогноз его работы в основании здания и сооружения.

Итак, мы начали с того, кто такой геотехник и как его найти. Теперь поставим перед ним первую задачу.

Глава 2, в которой говорится о предварительной геотехнической оценке инвестиционной привлекательности объекта строительства

Что нам стоит дом построить? Это первая мысль всякого инвестора. Кто бы мог ответить на это вопрос? Казалось бы, ответ прост: тот, кто будет строить, то есть подрядчик.

Цель любого нормального подрядчика – продать то, что у него есть, и при этом потратить максимум средств инвестора. Это все равно, что лечиться в аптеке: можно не сомневаться, Вам продадут самые дорогие лекарства. Некоторые инвесторы идут к нескольким подрядчикам, сравнивая их цены. Этот прием тоже совершенно ошибочен. Один предложит Вам средство «от желудка», другой – «от головы». Не правильнее ли сначала поставить диагноз, выявить проблему, а только потом назначить лечение? Проще говоря, идти нужно к доктору, который не подрабатывает в аптеке.

В нашем случае таким доктором является независимый проектировщик – геотехник.

Допустим, Вам нужно построить дом с двумя подземными этажами в центре города. Вплотную к Вашему участку примыкают дома, в которых живут уважаемые люди (бедные старушки уже давно переселены в новостройки). Если Вы пойдете к подрядчикам, один Вам предложит погрузить шпунт, другой заявит, что Вам помогут только секущиеся буровые сваи, а третий будет агитировать за закрепление грунта. В результате Вам придется сравнивать стоимость трех совершенно несравнимых предложений. При этом, как выяснится несколько позже, ни одно из них не годится. В зависимости от того, когда несостоятельность предложений станет очевидной, придется заново потратить и деньги, и время на новый проект, новые изыскания, а в ряде случаев и на усиление соседних зданий или – не приведи Господи, на их расселение.

К сожалению, это не фантастическая ситуация, а проза жизни. Исключить такое развитие событий очень просто: надо сразу обратиться к специалисту. Первый же архитектурный эскиз надо показать геотехнику и поинтересоваться, к каким затратам приведет этот воздушный замок. Геотехник, сделав необходимые расчеты, ответит Вам, как осуществить строительство одного, двух или трех подземных этажей, что потребуется для этого сделать, во что это обойдется по среднерыночным ценам. Он рассмотрит все возможные способы строительства, исключит опасные и выберет несколько приемлемых и конкурентоспособных вариантов, исполнимых разными подрядчиками. Теперь у Вас есть рецепт и в аптеке Вам не смогут пристроить ненужное и дорогостоящее лекарство.

Заказать проект подрядчику – то же, что лечиться в аптеке. Вам продадут самое дорогое лекарство.

Возможно, у Вас возник вопрос: как выполнить расчетную геотехническую оценку, когда еще нет ни геологии, ни проекта, а есть только идея? Ничего страшного, есть архивы, есть геологическая карта города, а нагрузки от Вашего здания (подумаешь, бином Ньютона!) тоже вполне понятны специалисту. Конечно, оценка будет предварительной, но она вполне достаточна для этапа технико-экономического обоснования или, как теперь говорят, обоснования инвестиций.

Геотехник пропишет Вам программу инженерно-геологических изысканий, программу обследований соседней застройки, а также укажет на основные проблемы, которые предстоит решить при проектировании. Это поможет Вам снизить риски, оптимизировать затраты. Без геотехнической оценки они могут превратиться в «черную дыру», пожирающую всю рентабельность объекта.

**В рамках предварительной
оценки геотехник составит
программу изысканий,
определит риски, предложит варианты
решений и оценит их стоимость.**

Таким образом, уже на самом первом этапе мы с Вами закладываем всю логику дальнейшего успешного проектирования и строительства: мы знаем, что строим, какие для этого нужны изыскания, какие потребуются геотехнологии, снижающие риск в данной конкретной ситуации.

Глава 3, посвященная геологическим изысканиям

Инженерно-геологические изыскания проводятся часто на стадии, когда инвестор еще только решает вопросы о приобретении участка под застройку. Поэтому понятно его желание не тратить деньги до принятия решения о собственности на землю и строения. Однако инвестор не должен забывать, что инженерно-геологические изыскания – это информационный базис для принятия всех проектных решений. Чем более туманны и расплывчаты данные изысканий, тем большие запасы будут заложены в проект разумным проектировщиком. Если же проектировщик неразумен – на базисе неполных и недостоверных изысканий он неминуемо примет ошибочные проектные решения – и тогда жди беды. Таким образом, экономия на изысканиях всегда обернется для инвестора на несколько порядков **большими** потерями.

В основе разрабатываемой сегодня в мире теории строительных рисков существует, например, такое правило. Если на объекте проводились инженерно-геологические изыскания с определением основных свойств грунтов, коэффициент запаса при проектировании фундаментов принимается равным 1.2. Если же изыскания не проводились, коэффициент запаса может подпрыгнуть до 4.0. Вот и решайте, что дешевле: провести нормальные изыскания или потратить втрое больше железобетона.

Изыскания – это информационная база для принятия проектных решений.

Как же отличить добросовестные изыскания от недобросовестных?

Качество изысканий оценить не так уж сложно даже специалисту.

Если Вы прислушались к нашим советам в главе 2, то у Вас есть программа изысканий, составленная опытным геотехником.

В этом случае, достаточно сверить с нею состав выполненных изыскателем работ. Геотехник не откажется дать рецензию по этим изысканиям.

Чем более туманны и расплывчаты данные изысканий, тем большие запасы будут заложены в проект.

Сегодня многие изыскательские организации очень не любят проводить испытания грунтов. Они бурят скважины, берут оттуда образцы грунта, определяют природную плотность и влажность и строят геологические разрезы. Механические свойства грунта (те, что используются в расчете) они принимают по таблицам СП, СНиП и ТСН. Действительно, в СНиПе приведены данные о грунтах от Владивостока до Бреста нашей необъятной Родины. Но эти данные являются справочными, так же, как и таблицы петербургских ТСН. Они годятся, в лучшем случае, для самой предварительной оценки геотехнической ситуации. Авторам этих таблиц и в страшном сне не предвиделось бы, что их справочные данные попадут в отчеты об инженерных изысканиях, где изыскатели с гордостью напишут, что основополагающие для расчетов характеристики: «Е, с, φ определены по данным СНиП и ТСН». Хочется спросить таких горе-изыскателей: зачем вы бурили скважины, если не смогли определить основные свойства грунтов, необходимые для безопасного проектного решения?

Уважаемый менеджер, Вам такие изыскания не нужны, даже если они выполнены известными в прошлом фирмами, не тратьте на них деньги. Настоящий отчет об инженерно-геологических изысканиях **должен быть толстым**. В нем должно содержаться множество графиков испытаний. Для того, чтобы определить один параметр механических свойств одного только слоя грунта, необходимо не менее шести испытаний. Если в геологическом разрезе присутствуют пять слоев, то общее количество механиче-

ских испытаний достигнет ста. Все они в виде графиков должны быть приложены к отчету. Эти «иллюстративные материалы» используются опытными расчетчиками, что позволяет им принять более обоснованное и экономичное решение. А это уже существенная экономия средств и сокращение сроков работ.

Авторы этой книжки много лет боролись за повышение качества геологических изысканий. Эта борьба увенчалась принятием петербургских геотехнических норм ТСН 50-302-2004, в которых записано требование об обязательном проведении прямых испытаний механических свойств грунтов. Сегодня основные положения ТСН вошли в актуализированные редакции СНиП «Основания зданий и сооружений» и «Свайные фундаменты» (авторы этой книжки были рецензентами Минрегионразвития по новым нормам).

Итак, приемка отчета по изысканиям может быть довольно простой. Вы измеряете толщину отчета. Если она менее 1 см, отчет, скорее всего, недоброкачественный. Далее Вы сверяете содержание с приложением М свода правил (СП 11-105). Это приложение **обязательное**. В нем расписано, какие виды испытаний для каких грунтов нужно было сделать. Следует помнить, что грунты Петербурга относятся к самой сложной 3-ей категории. Для глинистых грунтов, которые непременно встретятся в разрезе, обязательны компрессионные, сдвиговые и трехосные (или иначе – стабилметрические) испытания. Если паспортов испытаний в отчете нет, это означает, что геологи сделали только половину работы, а свойства грунтов выдумали.

**Экономия на изысканиях
обернется огромными потерями
при строительстве.**



Хорошая лаборатория с современными стабилометрами – необходимое условие качественных геологических изысканий.

Хочется сказать, что в инженерно-геологических изысканиях в Санкт-Петербурге не все так плохо. Стали появляться современные автоматизированные лабораторные комплексы с трехосными приборами. Уже на протяжении 10 лет активно применяется прогрессивная европейская технология статического зондирования СРТ (Cone Penetration Test). В совокупности с прямыми лабораторными испытаниями технология СРТ позволяет получить достоверную информацию о свойствах грунтов основания. На протяжении уже двух десятков лет для определения свойств грунтов непосредственно под подошвой фундаментов исторических зданий применяется аналог шведского динамического зонда.

Первое его применение в Ленинграде одним из авторов этой книжки было весьма курьезным. Тогдашние чиновники от строительства (которые у нас всегда все знали лучше, чем специалисты) топали ногами и кричали, что не позволят дырявить советские грунты шведским зондом. Но где теперь эти чиновники? А динамическое зондирование стало общепринятым при обследовании грунтов в основании исторических зданий. Был даже разработан специальный стандарт.

Итак, **признаками добросовестных геологических изысканий являются:**

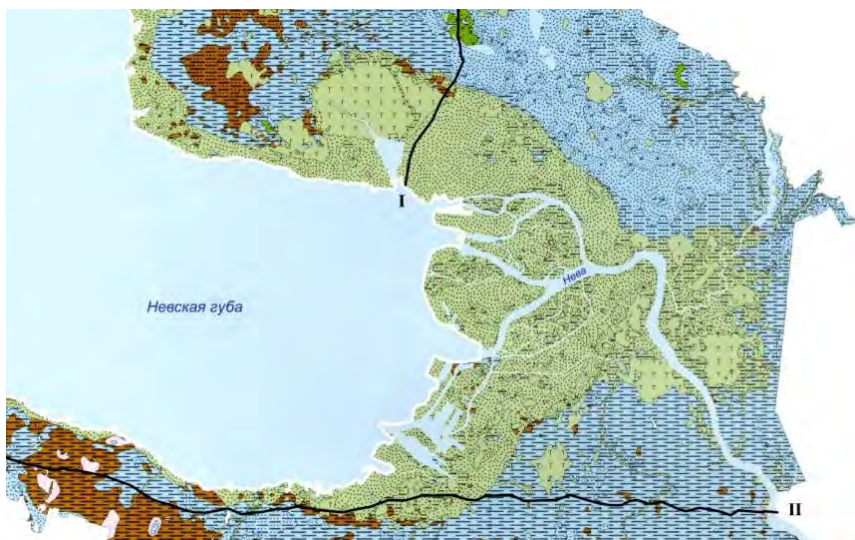
- прямые испытания для определения механических свойств грунтов;
- наличие трехосных испытаний;
- использование современных технологий статического зондирования СРТ (а под подошвой существующих фундаментов – динамического зондирования).

Объем и состав геологических изысканий должен строго соответствовать своду правил на изыскания, новым актуализированным СНиП и территориальным нормам.

В заключение этой главы дадим простой совет, **как можно быстро оценить сложность геологических условий площадки.**

Наши грунты – как слоеный пирог. Этот «пирог» неодинаков для различных районов города.

Петр Великий, очевидно, был «великим геотехником». Границы исторического центра города удивительным образом совпадают с областью распространения наихудших грунтов. Из новостроек, пожалуй, только районы Лахты и Комендантского аэродрома могут соперничать с центром по сложности геологических условий. Поэтому профессия «Геотехник» в нашем городе оказалась весьма востребованной. Профессиональная геотехническая школа России родилась именно в Петербурге, в путейском институте (ныне ПГУПС) в конце XIX века. Традиции этой школы сохраняются и приумножаются.

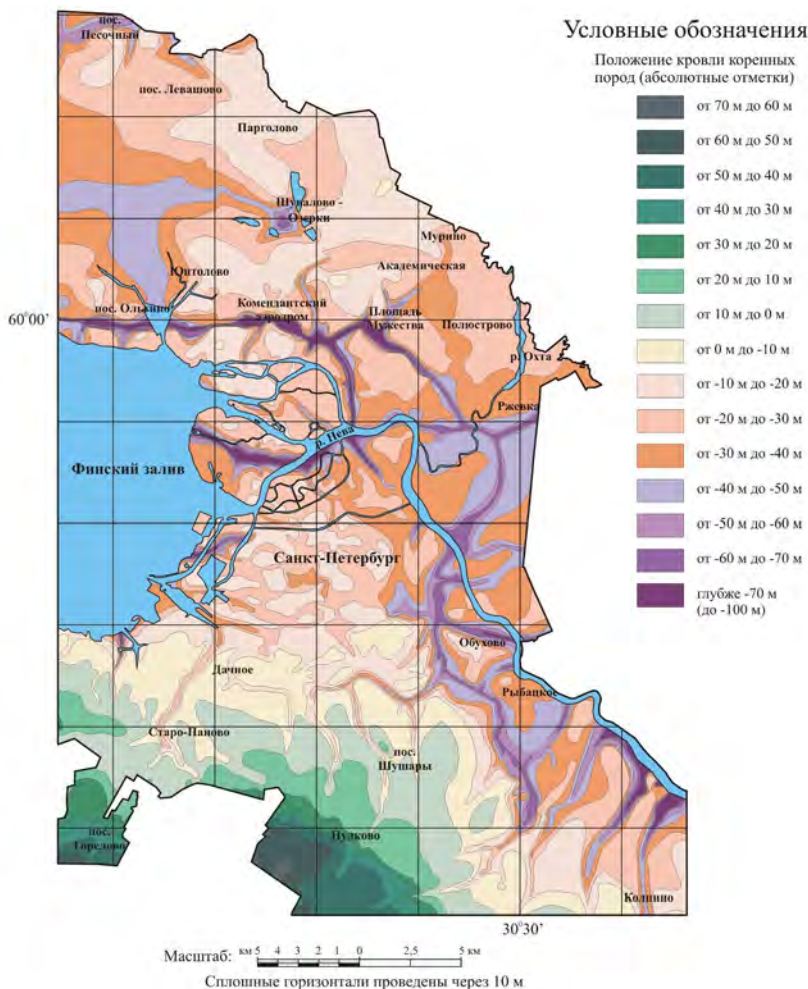


Инженерно-геологическая карта четвертичных отложений на территории Санкт-Петербурга (из Геологического атласа города): зона распространения слабых глинистых грунтов обозначена зеленым цветом.

Для центра города типичный состав грунтового «пирога» таков. Сверху – насыпной слой толщиной до 3 м. Под ним – 2–4 м песков. На этих песках и построен исторический Петербург. Ниже идут знаменитые петербургские слабые глинистые грунты. Они обладают отвратительным свойством: при любом воздействии они норовят превратиться в вязкую жижу. В этом грунте тонут экскаваторы. Даже человек вязнет в нем. Нагрузишь такой грунт в самосвал с горкой – пока до ворот доедешь – грунт уже выливается за борт. Даже на свалку этот грунт не принимают. Говорят: воду из него сначала удалите. А как же ее удалить, если за 10 тысяч лет она из него не вышла?

**Петербургские слабые грунты
при любом воздействии норовят
превратиться в вязкую жижу.**

По-настоящему надежные грунты в центре Петербурга можно встретить на глубинах более 30–40 м. Они называются отложениями венда или протерозойскими глинами. Именно в них построено наше метро. Местами доисторические реки прорыли долины (палеодолины) на глубину более 100 м.



Положение кровли коренных пород осадочного чехла на территории Санкт-Петербурга (переработанные и дополненные Р.Э.Дашко (2011) данные Геологического атласа Санкт-Петербурга, 2009 г.)

Одна из палеодолин проходит примерно от Медного всадника до метро «Приморская». Помните пушкинскую строфу:

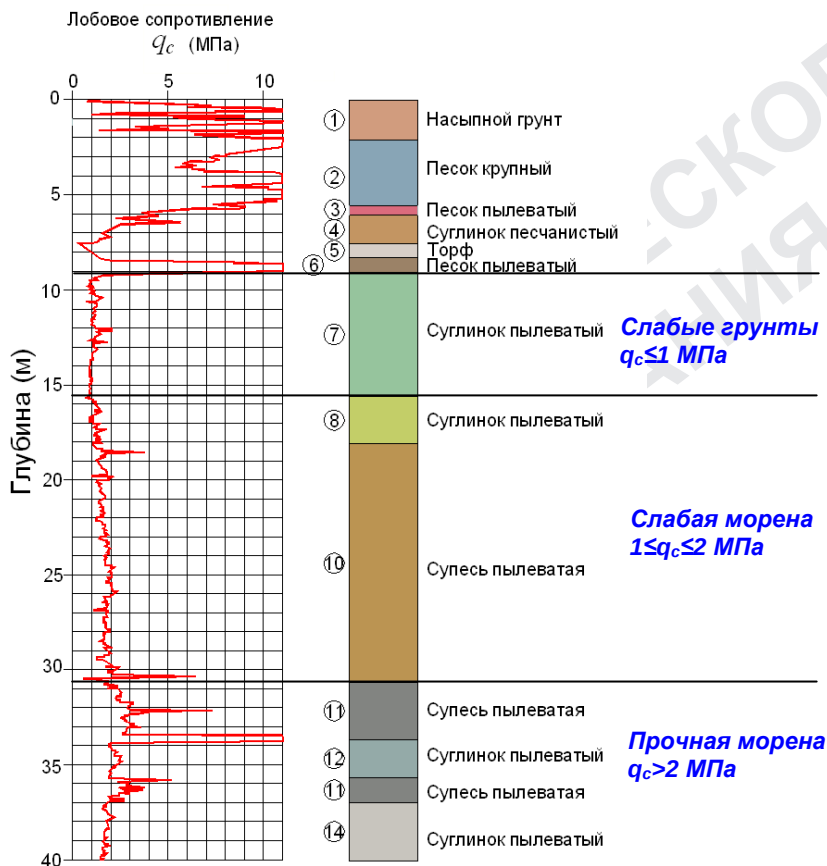
«О мощный властелин судьбы!
Не так ли ты над самой бездной
На высоте, уздой железной
Россию поднял на дыбы?»

Выделенная курсивом строчка имеет вполне конкретную геологическую подоплеку. Другая палеодолина пересекает линию метро «Лесная» – «пл. Мужества». Этот так называемый «размыв» на деле никаким размывом не является и никакой подземной реки там нет. Река там была миллионы лет назад. Древнее русло заполнено очень плотными водонасыщенными песками, которые превращаются в плавун, если только их выпустить в тоннель.

Ниже вендских глин на глубине 200...250 м залегают скальные грунты – граниты и гранито-гнейсы. Этот скальный щит (как любая скальная порода) разбит серией тектонических трещин. Некоторые шарлатаны пугают обывателей тем, что их дом стоит на «разломе». Этого страшного слова бояться не следует. Нужно быть андерсеновской принцессой, чтобы почувствовать наличие трещины в скальном основании через 200-метровую перину из осадочных грунтов.

Заканчивая это краткое путешествие вглубь земли, ответим, наконец, на вопрос, поставленный в его начале. Итак – перед Вами том инженерно-геологических изысканий. **Как оценить «степень бедствия», насколько сложны геологические условия Вашей площадки?** Самый простой и объективный способ – посмотреть на графики статического зондирования (по-английски CPT – Cone Penetration Test). Суть этого испытания проста – в грунт с постоянной скоростью вдавливается зонд – штанга с коническим наконечником и измеряется сопротивление грунта вдавливанию. На графике смотрим на сопротивление погружению именно конуса. Если это сопротивление около 1 МПа и менее – перед нами слой слабого грунта.

Обычно это супеси и суглинки – либо озерно-морские (обозначают их ml), либо озерно-ледниковые (lg). Морену геологи обозначают буквой g. Если для нее сопротивление конуса оказывается меньше 2 МПа, то она слабовата, если от 2 до 4 МПа – значит, Вам повезло.



Пример определения сложности геологических условий по данным статического зондирования (CPT).

В отложения венда зонд погрузить обычно не удастся. Если же это произошло – значит, с вендом что-то не так. Скорее всего, это так называемая верхняя дислоцированная зона, которая бы-

ла испорчена еще в древние времена, когда венд находился на поверхности.

За пределами исторического центра Санкт-Петербурга можно встретить существенно более благоприятные геологические условия. Местами близко к поверхности находится морена, на меньшей глубине находятся твердые глины. В районе Поклонной горы велика толща прочных песков.

В любом случае, статическим зондированием Вы, как ломом, можете прощупать, нет ли в Вашем «пироге» слабых слоев грунта.

Глава 4 – о пользе строительных норм

До недавнего времени необходимость и польза строительного нормирования никем не оспаривалась. Сумбур начался, наверное, с разговоров о вхождении России во Всемирную торговую организацию. Очевидно, что вхождение в ВТО предполагает и создание единых правил игры на строительном рынке.

Как известно, строительство в нашей стране всегда строго регламентировалось системой СНиП, СП, ТСН, ГОСТ и т.п. В этом смысле наша страна отнюдь не была исключением из правил, а вполне соответствовала подходам, принятым в других развитых странах. В Германии существует система DIN (которая послужила некогда прототипом для наших СНиП), в Великобритании – Британские стандарты, во Франции – стандарты Французской республики.

Более 15 лет кропотливого труда понадобилось специалистам из стран Евросоюза (при солидном государственном финансировании) для того, чтобы разработать и согласовать единую для всей Европы нормативную систему Еврокодов. Причем каждый Еврокод, в том числе Еврокод 7 («Геотехническое проектирование»), состоит из общей для всех стран Европы части и национального приложения. Еврокоды – это нормы нового поколения. Для старых национальных норм (как для немецких DIN, так и для советских СНиП) была свойственна подчас мелочная регламентация того, КАК следует решать ту или иную строительную задачу. Еврокоды же обращают внимание на то, ЧТО надо решать. Вопрос «КАК?» – остается на совести профессионала.

Надо сказать, что слухи о прогрессивности Еврокодов несколько преувеличены. В результате множества компромиссов различных геотехнических школ Европы в общей части Еврокода 7 осталось не так уж много конкретики. Она перебралась в национальные приложения.

Еврокоды юридически являются рекомендательным документом, строго говоря, не обязательным для исполнения.

**Нормы регламентируют,
ЧТО надо решать.
Вопрос КАК – остается
на совести профессионала.**

Только при этом надо понимать, что в случае аварии господин Прокурор непременно поинтересуется, строго ли вы следовали Еврокоду. Если нет, то может быть, вы проводили собственные исследования этого вопроса? Если опять-таки нет, то все-таки почему же вы не следовали Еврокоду?

При такой постановке вопроса спорить с Еврокодом осмелятся только самые выдающиеся исследователи.

В Европе, кстати, для сложных объектов предусмотрено такое полезное дело, как «правило четырех глаз». Это означает, что одна пара принадлежит проектировщику, а вторая – эксперту, привлеченному муниципалитетом на средства, в обязательном порядке перечисленные инвестором. На приличные деньги привлекается эксперт, по авторитету не уступающий автору проекта. Он способен провести экспертизу даже более глубокую, чем та государственная экспертиза, к которой все мы привыкли. Он может независимо повторить самые сложные расчеты, проверить конструктивные схемы, узлы и т.п.

Следующим заслоном от непрофессионализма в проектировании в ведущих европейских странах является обязательное страхование. Можно не сомневаться в том, что страховая компания, отвечающая своим кошельком за результат проектирования, приложит все усилия для того, чтобы проверить правильность проекта и избежать наступления «страхового случая». От качества проработки всех этапов проекта зависит и страховая сумма.

К сожалению, российская практика страхования строительных рисков не лишена ярких национальных особенностей. Одна уважаемая естественная монополия, располагающая армией юристов, застраховала свое здание. Когда в один недобрый час про-

изошло обрушение его части, владельцы попросили нас оценить, к какому именно случаю из описанных в договоре страхования относится данная ситуация. Договор выглядел вполне пристойно. В нем говорилось о том, сколько стоит страховка, детальнейшим образом было описано самое важное и увлекательное - процедура оплаты страховой премии (юристы не даром ели свой хлеб!) и упомянуто, что все скучное и неинтересное содержится в правилах страхования, прилагаемых к договору. В этих правилах очень мелким шрифтом было написано, что страховыми случаями НЕ являются ошибки проектировщиков и подрядчиков, а также трещины, появившиеся в результате деформирования здания. Прямое попадание самолета также совершенно разумно не признавалось страховым случаем – ведь в договоре речь идет о страховании *строительных* рисков. Мы так и не смогли догадаться, что же такое должно произойти со зданием, чтобы пострадавшие получили деньги. Поистине, нет такой здоровой идеи, которую не смогла бы скомпрометировать ее «умелая» реализация на практике.

Наконец, самым эффективным инструментом обеспечения профессионализма в строительстве является система подготовки специалистов и контроля за ними, принятая, например, в Великобритании и США.

Выпускник английского высшего учебного заведения строительного профиля получает диплом инженера не в стенах родного вуза, а в обществе, объединяющем всех инженеров-строителей страны, при Лондонском вузе, которое называется Институтом гражданских инженеров. Специалист, желающий шагать вверх по служебной лестнице, время от времени сдает там экзамены и получает сначала право на подпись на чертежах, потом – право на руководство специалистами, далее – на проведение экспертизы проектов. Любой прокол специалиста немедленно становится известным и может привести к дисквалификации с понижением статуса или даже исключением из членов Института. В последнем случае бедолаге придется менять вид деятельности. В черный

список могут попасть и вузы, у которых накопилась плохая статистика по ошибкам выпускников и слушателей, проходивших переподготовку.

Когда знакомишься с нашей реформой системы строительных норм и ответственности, то понимаешь, что реформаторы кое-что слышали об этой Европейской системе. Но, к сожалению, многие наши реформы идут по принципу: «до основания, а затем...». К процессу реформирования не привлекаются специалисты. В результате мы рискуем превратить достаточно хорошо регламентированную строительную отрасль в опасную для людей сферу деятельности.

**В истории не было случая,
чтобы высотные здания и подземные
сооружения возводились без науки.**

До революции в России существовали Институты гражданских и путейских инженеров, столь же уважаемые, как и аналогичные британские. Не разумнее ли возродить эту структуру, чем плодить так называемые «саморегулируемые организации» (СРО), в которых объединяются (подумать только!) не менее 50 компаний. Никакие нормы, никакие технические регламенты не возникнут в этих «клубах по интересам». Ни одна чиновная структура не справится с реформированием строительных норм без профессионалов. Не надо предаваться иллюзиям, что СРО (как звучит!) когда-нибудь будут способны создать какие-либо нормы без государственного финансирования. Это – опасные фантазии. Ни в одной стране мира наука не развивалась без поддержки государства. А без науки не будет норм. В истории не было случая, чтобы высотные здания и глубокие подземные сооружения успешно возводились без науки самого высокого уровня.

В силу этого отдать строительное нормирование еще только формирующимся организациям без научного обеспечения просто опасно.



Кстати, наука не бывает нескольких сортов, как осетрина у булгаковского буфетчика. У нее может быть лишь высший сорт, остальное – лженаука.

Успешной попыткой написать технический регламент, отвечающий потребностям нового времени, стали петербургские нормы по фундаментам (ТСН 50-302-2004). Они написаны на европейский манер: в них регламентируется ЧТО надо

делать для изысканий и проектирования, а вопрос КАК это сделать – отдается профессионалу. Фактически, эти нормы поставили определенный заслон для непрофессионализма. Они облегчили рассмотрение проектной документации и заказчику, и государственной экспертизе, поскольку содержат ясные качественные и количественные критерии того, ЧТО надо делать исполнителю проекта. Сегодня основные положения ТСН органично вошли в актуализированную редакцию СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений».

Что же можно посоветовать менеджеру в отношении норм? Забудьте разговоры о том, что СНИПы и ТСН отменены или носят рекомендательный характер. Все равно с этим не согласится ни одна Государственная или негосударственная экспертиза. Она спросит Вас: А что есть у Вас, кроме этих норм? И добавит: Если Вам не нравятся нормы – напишите новый технический регламент, утвердите в правительстве и тогда – милости просим, мы

проведем по нему экспертизу. Не хотите – тогда делайте все по тем нормам, какие есть.

Забудьте разговоры о том, что нормы носят рекомендательный характер.

В последнее время во властных структурах появилась любопытная идея – помочь застройщику, убрав некоторые бюрократические барьеры, в том числе даже (страшно подумать!) экспертизу проектной документации. Правда тут же следует оговорка, что эта вольность немедленно будет пресечена повышением ответственности застройщика. Иными словами: «Господин застройщик, Вы жалуетесь, что государство связало Вам руки? Мы Вам поможем: теперь Вы будете рады сами себе связывать руки для своей же пользы и безопасности».

Итак, лучший выход для инвестора – записать в контракте с изыскателями, проектировщиками или подрядчиками заветную фразу «все работы выполнять в соответствии с СНиП, СП и ТСН» (и добавить их перечень). Тем самым Вы сможете вернуться в систему нормативных отношений и избавитесь от всевозможных спекуляций.

Особенно важно это требование записать в контракт, если у Вас имеются иностранные проектировщики. Можете поверить нашему богатому опыту: иностранный проектировщик просто не справится с проектом без российской адаптации. А проект, выполненный на западный манер, не пройдет экспертизу и будет бесполезен на стройплощадке.

Глава 5. Как будем строить: по закону или по понятиям?

Как известно, нарушение законов природы никогда не проходит без печальных последствий. Начали падать спутники, разрушаться энергоблоки, гораздо чаще стали трещать дома, даже недавно возведенные. Так постепенно мы приближаемся к опасной черте – периоду техногенных катастроф. Снижается надежность проектных решений, уменьшается долговечность строящихся зданий, исчерпывается ресурс ранее возведенных строений, эксплуатируемых на износ без проведения профилактических ремонтов и мониторинга за их состоянием. Что можно противопоставить этой негативной тенденции? Только опору на профессионалов.

Этому призван способствовать Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (384-ФЗ). Он распространяется на весь жизненный цикл здания – инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию – вплоть до сноса строения. Главное же его значение состоит в том, что он ставит заслон против непрофессионализма и некомпетентности, что не всегда и не всем удобно. Можно утверждать, что сегодня для того, чтобы навести порядок в области строительства, достаточно исполнять этот закон.

**Чтобы навести порядок в области
строительства, достаточно исполнять
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН.**

Закон покончил со спекуляциями последних лет о необязательности исполнения строительных норм

Закон устанавливает ясные требования о необходимости строгого следования тем стандартам и сводам правил, которые оказывают влияние на безопасность. Завершается процесс актуа-

лизации строительных норм, в котором авторы этой книжки принимают самое активное участие, работая в технической комиссии Минрегионразвития. Несмотря на чрезвычайно сжатые сроки, нормы, которые не пересматривались вот уже несколько десятилетий, удалось обновить введением актуальных современных требований.

Федеральный Закон покончил со спекуляциями последних лет о необязательности исполнения строительных норм.

Принцип предельных состояний – основа обеспечения безопасности

Реализованная в законе концепция обеспечения механической безопасности здания или сооружения хорошо знакома проектировщикам и давно принята как в нашей стране, так и за рубежом. Она проста: нельзя допускать возникновения предельного состояния по прочности и устойчивости в строительных конструкциях и в грунтах основания как в процессе строительства, так и в период эксплуатации, нельзя допускать развитие опасных деформаций, мешающих использовать здание. Тем не менее, придание этой концепции статуса основополагающего положения федерального закона трудно переоценить. Это позволит привлечь к ответственности тех проектировщиков, которые вольно или невольно в силу своей слабой компетентности занимаются воровством надежности у объекта. Это оздоровит ситуацию в проектировании и очистит его от авантюристов, деятельность которых с каждым годом становится все опаснее.

Некоторым горе-проектировщикам кажется, что можно чуть-чуть, ненадолго нарушить требования норм, и все обойдется. Однако допустить возникновение предельного состояния не позво-

лительно даже на пять минут, как нельзя на пять минут украсть в банке миллион. И то, и другое – преступление. Первопричиной любой аварии строительного объекта является нарушение норм либо при проектировании, либо при строительстве и эксплуатации.

Допускать возникновение предельного состояния непозволительно даже на пять минут, как нельзя на пять минут украсть в банке миллион. И то, и другое – преступление.

Закон вводит требование о трехмерных нелинейных расчетах взаимодействия зданий и оснований

Впервые на уровне федерального закона прописаны требования к расчетным моделям, расчетным схемам, основным предположкам расчета. Прежде всего, они должны отражать *действительные* условия работы здания или сооружения, то есть те, которые существуют на самом деле. Модель следует проверить на практике. Ничто важное не должно быть забыто при расчете.

Закон говорит, что необходимо учитывать *пространственную работу* строительных конструкций, *геометрическую и физическую нелинейность*, и даже *пластические и реологические свойства материалов и грунтов*. Грунт, будучи создан природой, не имеет сертификата от производителя, как бетон или металл. Механические характеристики у грунта изменяются не только по глубине и простираию, но и при приложении нагрузок и в ходе деформирования. Всю эту причудливую совокупность особенностей работы грунта необходимо учитывать в расчете.

Читателю будет интересно узнать, что *реологические свойства грунтов* (как грунт деформируется во времени), на учете которых настаивает закон, невозможно достоверно определить ни в лаборатории, ни «в поле» (так геологи называют те испыта-

ния, которые проводят на свежем воздухе). Мы потратили двадцать лет для того, чтобы определить реологические свойства коварных питерских грунтов по данным длительных натурных исследований. Мы не держим эту ценную информацию в тайне – все опубликовано. Но вот беда: ни одна имеющаяся в продаже компьютерная программа не в состоянии учесть реологию грунта. Как говорится, не от хорошей жизни нам пришлось разрабатывать свой программный комплекс *FEM models*, способный решать все возможные грунтовые задачи (кстати, он сегодня единственный, который не только сертифицирован на соответствие всем грунтовым нормам, но и верифицирован, то есть проверен на объектах, утыканных датчиками).

Особо оговаривается в законе необходимость расчета зданий и оснований с учетом их взаимодействия.

Закон требует выполнять расчеты взаимодействия зданий и оснований.

Если бы авторы этой книги задумали создать такие нормы, чтоб никто, кроме нас, не смог их выполнить – мы все-таки постеснялись бы написать некоторые из тех положений, что сегодня являются обязательными требованиями Федерального закона 384-ФЗ. Кто, например, умеет рассчитывать взаимодействие здания и основания, да еще в нелинейной постановке? Это по силам всего нескольким командам в России и за рубежом.

Закон требует учитывать в расчете реологические свойства грунтов.

По счастью, мы успешно занимаемся такими расчетами последний десяток лет (возможности совместных расчетов открылись благодаря созданию программы *FEM models*), постоянно

общаемся с европейцами, американцами, индусами, японцами и австралийцами, обогащая друг друга знаниями. Почему бы не помочь нашим российским коллегам по строительному цеху? Любознательный читатель может узнать, что такое совместные расчеты, если прочтет главу 11 этой книжки.

Закон вводит требование об обеспечении безопасности окружающей застройки

Негативное влияние строительства на окружающую застройку должно быть минимальным, не допускается возникновение угрозы для жизни и здоровья граждан (и даже животных и растений), для сохранности имущества. Подобное требование давно уже содержится в московских и петербургских геотехнических нормах. Теперь, приобретая высокий статус положения федерального закона, оно позволит повысить безопасность существующих зданий.

Важность и своевременность этого требования можно осознать, когда сталкиваешься с такой весьма распространенной сегодня ситуацией: часто рассматриваются проектные решения, которые приводят к повреждению соседней застройки. При этом вместо кардинального пересмотра проекта в сторону повышения его безопасности заказчику предлагают раскошелиться на усиление всей округи - иногда в пределах 50 м от объекта!

Согласно закону в проектной документации должны быть предусмотрены меры, предупреждающие или уменьшающие последствия техногенных воздействий. Вести строительные работы в Санкт-Петербурге следует такими способами, которые не приводят к нарушению природной структуры слабых глинистых грунтов. О том, что это за способы, любознательный Читатель сможет выяснить, прочитав Третью часть «Гиды по геотехнике».

Закон приветствует применение результатов исследований

Перед строителями сегодня стоят новые вызовы современности – возведение высотных зданий, развитие подземного пространства, сложная реконструкция кварталов городской застройки на слабых грунтах Петербурга. Без научных исследований, без обобщения достижений современной геотехники решение этих задач абсолютно невозможно. В законе введено требование о научном сопровождении изысканий и проектирования для объектов повышенного уровня ответственности.

Меры по обеспечению безопасности должны быть обоснованы исследованиями, расчетами, испытаниями, моделированием опасных воздействий, оценкой риска их возникновения. Если проектировщик видит недостаток норм, он должен восполнить пробел, привлекая науку. К сожалению, способны к этому только коллективы наиболее квалифицированных проектировщиков, активно занимающихся научными исследованиями. Весьма от радно, что закон способствует вовлечению исследований в практику проектирования, что приведет к прогрессу во всей строительной отрасли.

Закон установил новые требования к проведению мониторинга:

- мониторинг должен отслеживать состояние основания, конструкций и инженерных коммуникаций и контролировать его соответствие проекту;
- проект должен предусматривать проведение мониторинга состояния всех строений, попадающих в зону влияния стройки;
- мониторинг должен проводиться не только в процессе строительства, но и эксплуатации здания.

Основой для контроля за предельными параметрами являются результаты совместных расчетов зданий и их оснований. Мониторингу посвящена глава 16 «Гида по геотехнике».

Закон устанавливает жесткие требования к экспертизе

Согласно закону важным элементом обязательной оценки ответственности зданий и сооружений является экспертиза результатов инженерных изысканий и проектной документации. Она должна установить их соответствие требованиям закона перед началом строительства, в том числе требованиям к обеспечению механической безопасности. Ключевыми для современной проектной практики являются требования к расчетным моделям.

К сожалению, далеко не все органы государственной и негосударственной экспертизы сегодня в состоянии оценить достоверность расчетов и используемых моделей. Некоторые даже не ставят себе такой цели. В связи с этим для помощи экспертам нами разработаны простые методы оценки достоверности компьютерных расчетов, изложенные во Второй части «Гиды по геотехнике». Они помогут выявить грубые расчетные ошибки, не прибегая к дублированию расчетов.

Итак, новый 384-ФЗ бросил вызов всему строительному сообществу – изыскателям, проектировщикам, строителям, эксплуатирующим организациям, экспертным надзорным органам – насколько оно профессионально, может ли оно соответствовать его высоким требованиям. Последовательное и обязательное применение закона не оставит места любительским формированиям, которые часто побеждают во всевозможных тендерах, проводимых по критерию: кто дешевле, либо кто ближе. Требованиям закона способен удовлетворять только высокий профессионал, активно занимающийся самообразованием, для которого научные исследования являются пищей для размышлений. Закон способен выстроить инновационные подходы к строительному процессу, обеспечить его эффективность, сохранить величайшее достояние народа – историческое архитектурное наследие.

Глава 6 – о геотехническом обосновании

Когда у одного немолодого профессора, который подвизался проектировщиком, в экспертизе спросили: «А где у вас геотехническое обоснование?», он в сердцах произнес: «Вы мне эти штучки Улицкого бросьте!»

Геотехническое обоснование предназначено для выбора оптимального варианта проектного решения и технологии его реализации.

Что же это за штучки такие – геотехническое обоснование – и нужно ли оно кому-нибудь, кроме Улицкого?

Как написано в ТСН, «Геотехническое обоснование предназначено для выбора оптимального варианта проектного решения и технологии его реализации, обеспечивающих надежность объекта реконструкции или строительства и сохранность окружающей застройки». Когда мы формулировали этот тезис, нам казалось, что это нужнее всего инвестору. Кстати, сегодня это требование записано и в новой редакции СП «Основания зданий и сооружений» (там геотехническое *обоснование* называется геотехническим *прогнозом*, что сути не меняет).

Действительно, откуда инвестор узнает, что проектировщик предложил оптимальное проектное решение, если инвестору не будут представлены расчеты по другим принципиально возможным вариантам? Повторяем, геотехника – точная наука, поэтому каждый вариант поддается достаточно строгой расчетной оценке. Эта расчетная оценка позволяет определить как деформации самого объекта строительства или реконструкции, так и вычислить размеры зоны риска для соседней застройки. Она оптимизирует возможные затраты уже на ранней предпроектной стадии и подтверждает их в процессе проектирования.

О геотехнических расчетах мы уже упоминали в главе 2, посвященной предварительной оценке геотехнической ситуации. Геотехническое обоснование повторяет и углубляет эту оценку на новой, гораздо более широкой базе исходных данных. У нас уже имеются данные геологических изысканий, отчеты по обследованию соседних зданий, архитектурные решения. Теперь мы можем выбрать оптимальную длину и диаметр свай, подобрать параметры ограждения глубокого котлована из стены в грунте или шпунта, определить щадящую геотехнологию для конкретных условий строительства.

Этот выбор осуществляется на основании очень четких критериев, приведенных в нормах. Это собственные деформации здания (осадки, их неравномерность, крены) или допустимые дополнительные осадки соседней застройки. Причем эти требования не идут в разрез с отечественными или европейскими нормами. Основные принципы этих нормативов едины. Это расчет оснований, фундаментов совместно с надземными конструкциями по двум группам предельных состояний: по прочности и устойчивости (надежности) и по деформативности (эксплуатационной пригодности).

**Прошли те времена, когда
строить можно было по принципу:
дом строим – два ломаем.**

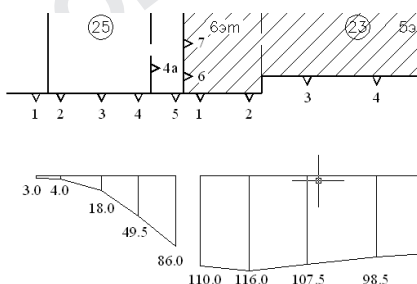
В последнее время довольно редко возводятся здания и сооружения «в чистом поле», когда вокруг него, в зоне возможного риска, нет строений и инженерных сетей. Чаще всего строительство ведется в среде плотной городской застройки. В этом случае критерий надежности для собственно строящегося объекта уходит на второй план. На первый выходит гораздо более жесткий критерий – обеспечение безопасности соседней застройки и коммуникаций. Часто для строящегося сооружения приемлемы

осадки 10, 15 и даже 20 см. Но когда оно возводится в условиях сложившейся застройки, в плотном примыкании к ней, приходится ограничивать его осадки в 5–10 раз меньшей величиной, чтобы они «не потянули» соседнюю застройку.

Именно такие величины дополнительных осадок – 2-3 см – допустимы для рядовой исторической застройки Санкт-Петербурга.



Классические осадочные трещины, возникшие в соседнем доме при строительстве нового здания с неграмотно устроенными фундаментами. Новый дом (на фотографии и схеме – справа) получил осадку и «потянул» за собой существующий. Снизу показаны данные наблюдений за осадками (мм)



Если превысить величину допустимых дополнительных осадок, то в соседних зданиях возникнут опасные трещины и инвестора ждет череда судебных разбирательств с жильцами и городской администрацией и компенсация немалых дополнительных затрат на восстановление либо расселение домов.

Прошли те «добрые» времена, когда строительство в центре города шло по принципу: дом строим – два ломаем. А если соседние дома потрещали – государство починит. Теперь каждый дом, каждая квартира получили собственника. Многие квартиры

имеют дорогостоящую отделку, по отношению к которой осадки даже в 2-3 см, безопасные для конструкций здания, могут оказаться неприемлемыми. (Авторам этой книжки приходилось быть экспертами по судебным тяжбам пострадавших соседей с застройщиком).

Перед проектировщиком стоит задача придумать такой вариант фундаментов нового дома, чтобы его осадки были минимальными и не провоцировали осадки соседних зданий.

Кроме этого, проектировщик должен выбрать такую технологию устройства нулевого цикла, которая не приведет к осадкам соседних зданий в процессе строительства.

Обычный проектировщик такие задачи Вам не решит. Вот здесь и нужен геотехник. Идеальна ситуация, когда проектировщик и геотехник работают вместе (как это сложилось в институте «Геореконструкция», где инженер-строитель проходит геотехническую специализацию). Это зачастую позволяет получать принципиально новые, экономически эффективные решения. Хуже, когда они работают в отрыве друг от друга. Как минимум, «Геотехническое обоснование» позволяет менеджеру осуществлять контроль за основополагающими решениями проектировщика, определяющими стоимость реализации проекта.

Если же «Геотехническое обоснование» отсутствует, у менеджера не остается инструмента для такого контроля. Как отличить добротное «Геотехническое обоснование» от профанации, коей, к сожалению, встречается немало?

Формально можно проверить его состав на соответствие перечню, подробно расписанному в ТСН. Ведь эти нормативы создавались для всех участников процесса.

Желающие могут выполнить собственную оценку качества «Геотехнического обоснования», руководствуясь простыми советами, изложенными во Второй части книжки. Если же Вы предпочитаете поручить эту работу эксперту, пусть он и читает эту часть, а мы хотели бы предложить Вашему вниманию несколько

простых и ясных ответов на ключевые вопросы «Геотехнического обоснования».



Как выбрать тип фундамента?

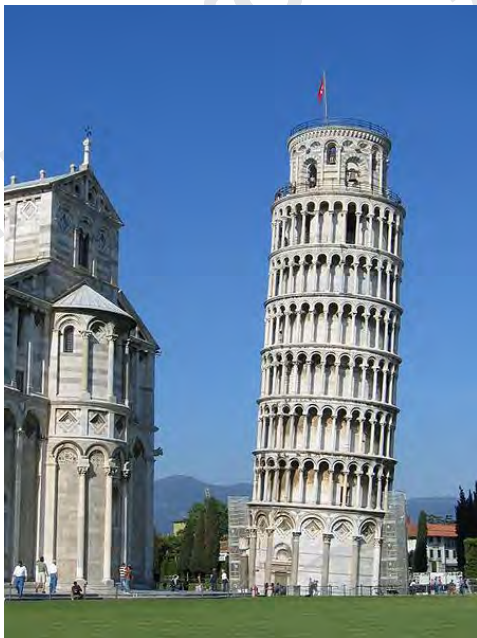
Строя здание «в чистом поле», то есть за городом или на окраине, где до ближайших строений более 20 м, мы будем выбирать такой тип фундамента, чтобы осадки зданий были ниже допустимых. Для малоэтажной застройки (до 5 этажей), скорее всего, подойдет обычный фундамент мелкого заложения (без свай). Надо только позаботиться о том, чтобы не соприкасались разновысокие блоки (более высокий блок непременно затянет в воронку оседания примыкающую низкую часть здания). Неравномерные осадки здания могут оказаться опасными.

Конечно же, надо заглянуть в отчет по геологии. О грунтовом «пироге» и о том, как его прощупать статическим зондированием, мы говорили в главе 3. Если под подошвой фундаментов нет слабых слоев – такой фундамент имеет право на существование.

Бывает, что на окраинах города геологические условия настолько благоприятны, что фундаменты мелкого заложения го-

дятся даже для 16-этажных зданий.

Но чаще всего для высоких зданий требуются свайные фундаменты. Они помогают уменьшить осадку здания, так как передают нагрузку на более прочные слои грунта.



Не все геотехнические ошибки выглядят столь привлекательно.

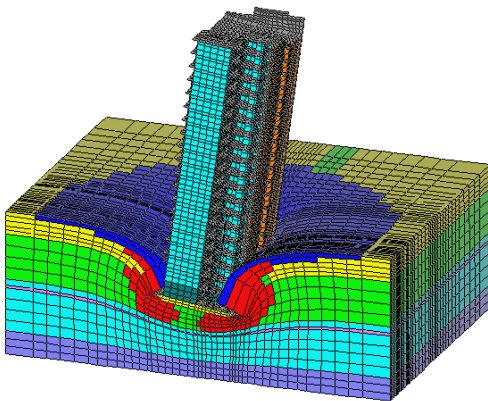
Сама по себе не так страшна осадка, как ее неравномерность. От неравномерных осадок длинный дом начинает трещать, а точечный крениться.

**При строительстве в условиях
плотной застройки
выбор фундаментов определяется
осадками соседних зданий.**

Вы, может быть, помните скандал с домом № 3 на Шипкинском пер. Под 16-этажное здание был запроектирован плитный фундамент без свай. Крен здания заметили жильцы, когда стали делать стяжку по перекрытиям и обнаружили перепад в 15 см(!) в пределах квартиры. Потом заклинило лифты. Здание отклонилось на 80 см, что заметно даже на фотографии. Город приложил немало сил и средств, чтобы выправить крен. Вывод прост: если Вы хотите сэкономить на фундаментах, не экономьте на «Геотехническом обосновании». Ошибка в решении фундаментов стала бы очевидной уже на стадии расчетов.



*Последствия ошибочного выбора
типа фундаментов дома
на Шипкинском пер.*



При строительстве в условиях плотной застройки Вам, скорее всего, не удастся обойтись фундаментами мелкого заложения. Требования к осадкам ужесточаются и определяются допустимыми осадками соседних зданий. Даже для 5-этажного здания может потребоваться свайный фундамент. При этом технология устройства фундаментов тоже не должна вредить окружающей застройке. О щадящих геотехнологиях мы поговорим ниже в главе 14.



Чем определяется необходимая длина свай?

Ответ на этот вопрос очень прост: сваи должны быть такой длины, чтобы осадки здания были допустимыми, позволяющими его нормально эксплуатировать. Количество свай и их расстановка определяется несущей способностью сваи по грунту.

**Не стоит увлекаться сваями
в полцены, но в полдлины.
Это может обернуться катастрофой.**

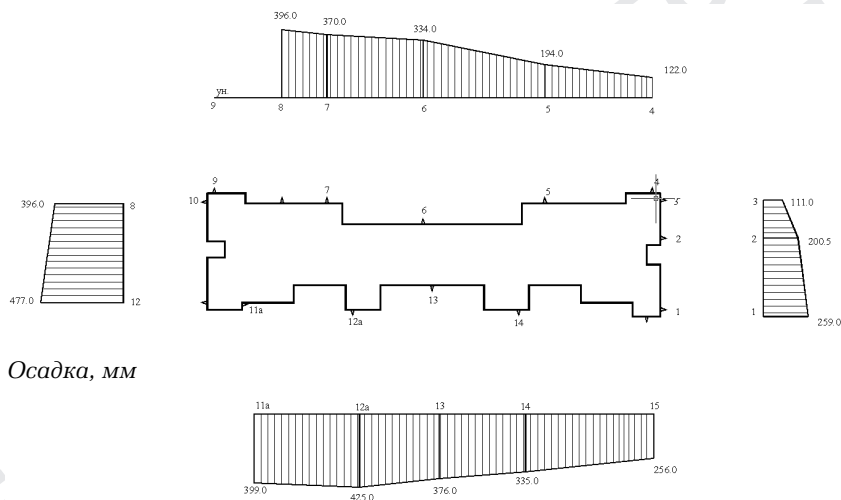
Грубой, но распространенной ошибкой является назначение длины свай, исходя из ее несущей способности.

Часто приходится слышать: мы же испытали сваю, несущая способность ее подходящая, а осадка при испытаниях всего 2 см!

Господа! Вы же держали сваю под нагрузкой всего несколько часов, а дом будет стоять на сваях сто лет! Чувствуете разницу? На таких благополучно испытанных сваях дома на Васильевском острове сели на 30 см и более, а предполагалось что будет всего 4 см, как при испытаниях. В первые два года осадки были еще невелики. Дома успели заселить. А через 20 лет появились опасные трещины, застопорились лифты.



*Последствия экономии длины свай:
крен дома, трещины в панелях,
осадки почти в 0,5 м!*



Осадка, мм

Наглядным примером неправильного выбора длины свай является один из домов в Лахте. Незадачливые исследователи «рационализировали» проект: сваи длиной 21 м они укоротили до 7 м! Острые сваи попало в слабые грунты. Дом сел на полметра и получил крен порядка 1%. Еще немного и такой уклон пола в квартире считался бы на шоссе крутым спуском.

Не стоит увлекаться сваями в полцены, но в полдлины. Это может обернуться катастрофой.



Как устроить подземный объем?

В чистом поле устройство неглубокого подземного сооружения иногда оказывается возможным даже в открытом котловане с откосами. Если нужно зарыться ниже уровня грунтовых вод, котлован предварительно окружают противофильтрационным экраном. Экран чаще всего делают из металлического шпунта. Качественно выполненный шпунт держит воду, а сам шпунт удерживается откосами.



При устройстве котлованов нужно было заранее подумать о соседней застройке. Даже о такой незамысловатой.

Если для откоса нет места, придется сделать ограждение котлована, которое рассчитывается из соображений устойчивости. «В чистом поле» его горизонтальные смещения нас не очень волнуют.

Как только вблизи котлована появляется здание, ситуация усложняется. Главным становится расчет подвижек ограждения, а не расчет его устойчивости. К сожалению, не все проектировщики это понимают и часто совершают ошибки. Это губительно сказывается на окружающей застройке и вводит заказчика в дополнительные расходы.

Если «в чистом поле» подвижку шпунта на 10 см никто не заметит, то осадка соседнего дома даже в 3...4 см приведет, как минимум, к скандалу. Здесь можно отметить важную связь: осад-

ки здания, примыкающего к котловану, примерно равны горизонтальному смещению шпунта.

Если дополнительные осадки примыкающего здания не должны превышать 2 см, то и смещение ограждения не должно быть больше 2...3 см. Значит, следует распирать и ограждение котлована, а само ограждение сделать жестким. Конечно, это не дешево, но тут уже ничего не поделаешь. Такова геотехническая практика в любом регионе мира.

Осадки здания, примыкающего к котловану, примерно равны горизонтальному смещению шпунта.

Для ограждения котлована, как правило, используют так называемую стену в грунте и шпунт. Не вдаваясь в технические детали, можно дать следующие рекомендации.



Если котлован на 0,5 м выше подошвы соседних зданий и выше уровня грунтовых вод, котлован может получиться без всякого ограждения.

До уровня подошвы фундаментов можно докопаться под защитой шпунтового ограждения.

Для более глубоких котлованов в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга одним только ограждением котлована (из шпунта или стены в грунте) уже не обойтись. Котлован глубиной более 3...4 м нуждается в распорной системе, удерживающей ограждение от горизонтальных смещений.

Применению анкеров, крепящих ограждение котлована, препятствуют слабые грунты, которые не позволяют набрать нужную несущую способность, не забравшись на территорию соседа и под соседние здания, где устройство анкеров недопустимо и чрезвычайно опасно.

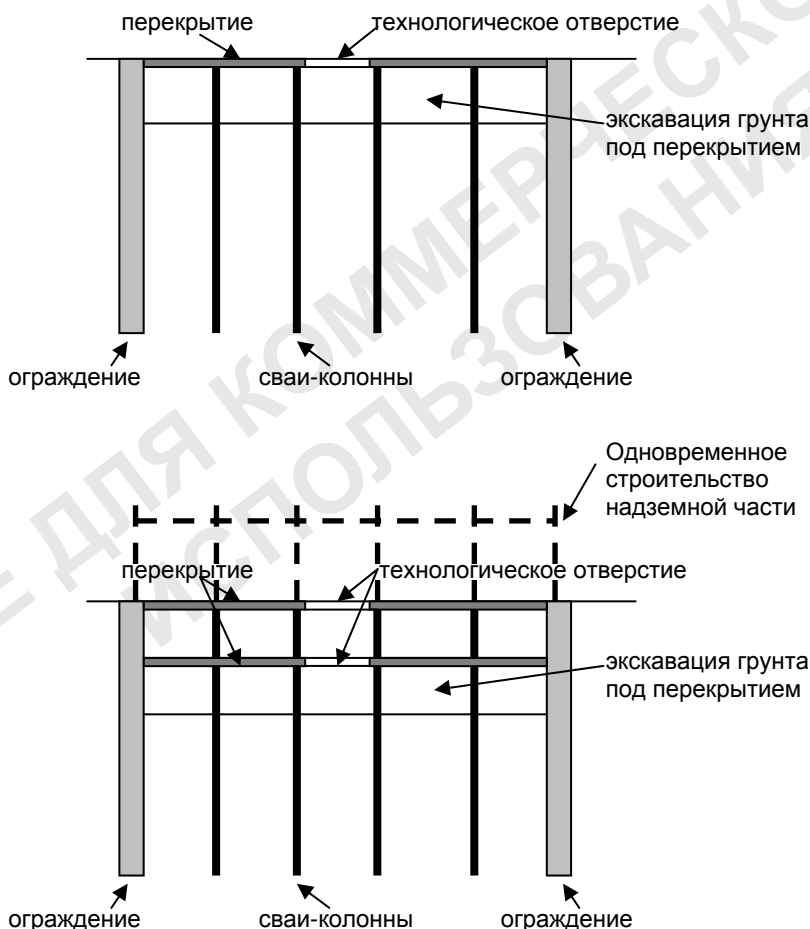


Примеры устройства ограждения котлована: из шпунта (слева) и методом «стена в грунте» (справа).

Остаются распорные системы, которые могут быть металлическими или железобетонными. С их помощью ограждение котлована надо тщательно распереть в нескольких уровнях по глубине по мере откопки котлована.

Отдельно стоит поговорить о методе «top-down» (или по-русски, «вверх-вниз»). В качестве распорок здесь используются диски перекрытий подземных этажей с большими или маленькими отверстиями. В условиях петербургских слабых грунтов откопка многоэтажного подземного объема по методу «top-down» очень непроста. Как в дантовом аду, там, в подземелье, темно, сыро, грязно. Техника тонет, ноги вязнут. Поэтому метод следует применять только там, где ему не существует альтернативы, а

именно при устройстве котлована впритык к соседним зданиям. Подсластить пилюлю этого метода можно тем, что он позволяет одновременно строить и надземную часть здания. Можно увидеть за рубежом или в Москве, как возводится 40-й этаж небоскреба и откапывается минус четвертый уровень подземной парковки. Для того, чтобы осуществить такое синхронное строительство вверх и вниз, проектировщик должен очень хорошо знать все нюансы этого метода.



Принцип строительства «вверх-вниз» (top-down).

При выборе конструкции ограждения надо иметь в виду, что ограждение котлована способно прогибаться под давлением грунта. Это особенно опасно там, где мы еще не успели поставить очередной уровень распорных креплений. Поэтому ограждение должно обладать достаточной жесткостью. Максимальную жесткость позволяет достичь стена в грунте, особенно при использовании контрфорсов. Стену можно сделать толщиной до полутора метров, а контрфорс вылетом 3 м способен превратить метровую стену в грунте в эквивалент 2,5-метровой. Такая жесткость не по силам шпунтовому ограждению. Самое развитое шпунтовое ограждение едва ли будет жестче, чем стена в грунте толщиной 800 мм.

Известен еще один способ устройства ограждения, но он очень плохо зарекомендовал себя в Санкт-Петербурге. Это стенка из секущихся буровых свай. Про недостатки этой технологии, приведшей к разрушению нескольких зданий в Петербурге, мы поговорим в главе 15, посвященной геотехнологиям. Здесь же достаточно отметить, что ее жесткость в несколько раз ниже жесткости монолитной стены в грунте той же толщины. Кроме того, стенка из свай не может обеспечить водонепроницаемость.

Глава 7 – о проектировании

Мы подошли к одному из самых ключевых моментов для менеджера (заказчика) – к выбору проектировщика. И тут мы должны открыть одну страшную тайну. Оказывается, ни одно учебное заведение России не выпускает готовых проектировщиков. Причина этого очень проста и кроется она в истории нашего высшего образования. Перед выпускником строительного вуза всегда лежали три дороги: на стройку, в проектирование и в науку (в НИИ или на кафедру). В советские времена, когда науку уважали, последний путь был самым престижным. Выбравшие эту стезю поступали в аспирантуру, защищали диссертации. По советским меркам зарплате доцента в 400 рублей мог позавидовать любой прораб и проектировщик (не говоря уже о профессорских ставках).

За это время другой выпускник, поступивший в проектный институт, набирался опыта в проектировании под началом ассов. Лет через семь, когда он уже получал 250 рублей в месяц, он мог оглянуться на альма-матер: не пойти ли попреподавать и поделиться опытом реального проектирования.

И тут выяснялось, что при отсутствии кандидатской степени у него нет шансов получить зарплату выше ассистентской (150 руб.). Поэтому среди преподавателей вуза реальный проектировщик – это редчайшее исключение.

**Ищите проектную организацию,
сохранившую школу проектирования,
а не только вывеску.**

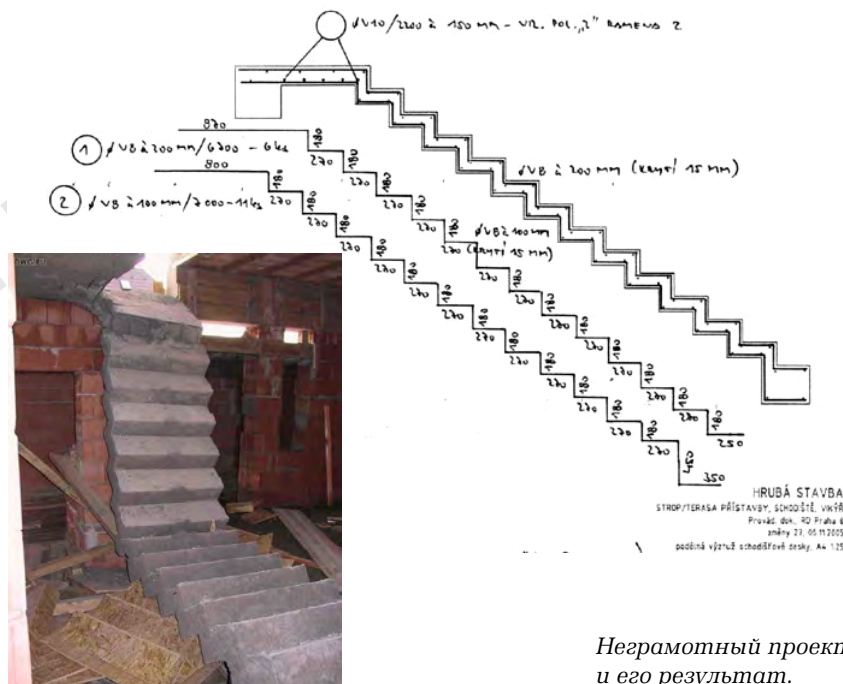
Когда-то, в далекие доперестроечные советские времена в ведущих строительных вузах страны для поступающих в аспирантуру требовался хотя бы двухлетний стаж проектной работы. Потом об этом требовании как-то забыли.

После перестройки из вузов ушли почти все, для кого преподавательская деятельность не была призванием.

Таким образом, в вузе почти нет преподавателей, знающих проектирование, и поэтому в вузах проектированию толком никогда не учили. Следовательно, в поисках проектировщиков в вузы идти бессмысленно. Если на визитках Вы видите аббревиатуры к.т.н. (кандидат технических наук) или д.т.н. (доктор технических наук) – это знак, что перед Вами, возможно, достойные и умные люди и очень хорошие исследователи, но скорее всего, они мало связаны с реальной практикой проектирования. Особенно будьте внимательны к академикам.

Сегодня расплодилось десятки всяческих академий, члены которых не всегда являются даже кандидатами наук, а иногда не имеют и высшего образования. Такие «академики» представляют реальную угрозу, когда они занимаются проектированием и по своему разумению решают вопросы безопасности сотен горожан.

DWG: RU



*Неграмотный проект
и его результат.*

Проектировщиков растили только большие проектные институты. То, что институты сегодня в большинстве своем погибли – трагедия для отечественного проектного дела. Вместе с ними в России в значительной мере утрачена и школа строительного проектирования, и сложившаяся с годами методология, и система ответственности.

Сегодня в Санкт-Петербурге осталось совсем немного проектных организаций, сохранивших школу проектирования, а не только вывеску. По счастью, к ним относится институт «Геореконструкция», собравший сложившиеся коллективы настоящих проектировщиков из ведущих Петербургских институтов – Промстройпроекта, ПИ №1, Фундаментпроекта, ВНИИГСа (последний институт был головным в СССР по подземному строительству, но исчез в перестройку). Именно благодаря этим людям авторы данной книжки (заметьте, тоже дэтээны и катээны, то есть выходцы из науки) стали проектировщиками. Для этого понадобились многие годы совместной работы. На собственной шкуре авторы ощутили разницу между подходом ученого и проектировщика. Для ученого и отрицательный результат – это результат, а не ошибка. Проектировщик же на такой результат не имеет права. Проектировщик – человек, который ставит подпись на чертеже и всю жизнь несет уголовную ответственность за правильность своих решений. Он – родитель дитяти, имя которому «ПРОЕКТ».

Когда рухнул козырек над метро «Площадь Мира», к 90-летней бабушке нашего сотрудника пришел следователь и стал вести допрос, так как ее подпись была на чертеже этого павильона метро.

Теперь Вы понимаете, почему бывает не очень сговорчив Настоящий Проектировщик: инвестор отвечает кошельком, а он – головой.

**Профессиональный проектировщик
заложит запас только там, где он
необходим, а профана не спасет и
многократный перерасход материала.**

Несклонен Настоящий Проектировщик и к эксперименту, к применению сиюминутно модных, но неапробированных решений, материалов и технологий. Настоящего Проектировщика невозможно заставить нарушить нормы. Это не значит, что он ретроград. Творения наших сотрудников – сборные железобетонные оболочки пролетом 100 м и толщиной всего 10 см – и сегодня восхищают красотой технических решений.

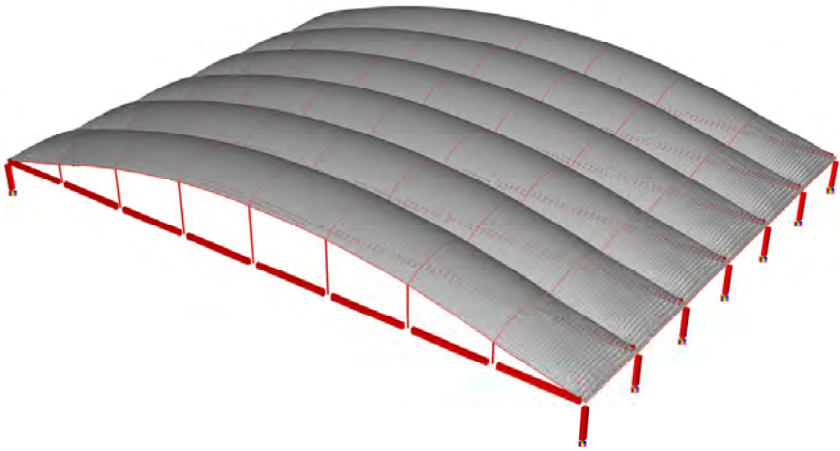


Схема бочарных сводов пролетом 96 м покрытия главного корпуса автобусного парка №6. Автор конструктивного решения А.В. Шапиро, многие годы возглавлявший отдел проектирования конструкций института «Геореконструкция», получил за эту работу Государственную премию.

Не надо думать, что надежное проектное решение – это самое дорогое. Профессионал заложит запас только там, где он необходим, а профана не спасет и многократный перерасход материала.

В начале 90-х наши многоопытные сотрудники специализировались на совершенствовании чужих проектных решений. На одном из объектов им удалось «вынуть» из проекта 6 вагонов арматуры из тех мест, где она была совершенно не нужна и добавить один вагон туда, где ее не хватало.

Часто вузовский ученый выглядит гораздо более отважным, чем проектировщик. Он смело подписывает заключения и протоколы, щедро дает устные советы, предлагает «новые технологии». Прежде, чем следовать его советам, рекомендуем Вам выяснить, какую он несет за них ответственность. Чаще всего – никакую. За всё отвечает проектировщик, подписавшийся под чертежом.

Правда, проектировщик, не прошедший настоящей школы, порой не осознает своей ответственности. Он может поверить чужим безответственным советам и тем самым подвести себя «под монастырь», а инвестору причинить убытки. К сожалению, немало примеров, когда пострадали жильцы, купившие квартиры в ненадежных зданиях.

Очень часто проектные решения, выдаваемые за «смелые» и «экономичные» – ничто иное, как воровство надежности у объекта.

Расскажем реальную историю. Наша сотрудница – проектировщик с многолетним стажем решила купить квартиру в доме, построенном уже на один этаж. Заглянув в проект, она удивилась: «Но ведь здесь должны быть сваи, а не фундаментная плита!»

Тем временем, проект попал в экспертизу, которая пришла к аналогичному выводу. Строительство затормозилось, инвестор стал искать способ подвести сваи под существующую плиту. Это сложнее и дороже, чем снести построенное. Но сносить нельзя – напугаешь дольщиков. Через год наша сотрудница снова поинте-

ресовалась этим домом. Ей сердито ответили: «Вы же сказали, нужны сваи, вот мы их и делаем».

Позже выяснилось, что там не было не только свай, но и рабочая арматура в фундаментной плите была поставлена не в том направлении (вдоль стен, а не поперек). Автором проекта был вчерашний студент, по несчастью оказавшийся главным конструктором в архитектурной мастерской. Его было по-человечески жаль: его никогда не учили проектировать. Но стоит пожалеть и без вины пострадавших дольщиков.

По счастью, в Богом хранимой России не каждый неправильно спроектированный дом рушится. Дом на Двинской ул. простоял 30 лет, прежде чем рухнул, несмотря на допущенные при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации грубые ошибки.

Очень часто проектные решения, выдаваемые за «смелые» и «экономичные» – ничто иное, как воровство надежности у объекта. Это не экономия денег, а отложенные риски, за которые кому-то придется платить. Не исключено, что нам еще придется пожинать плоды строительного бума, происходившего при дефиците Настоящих Проектировщиков.



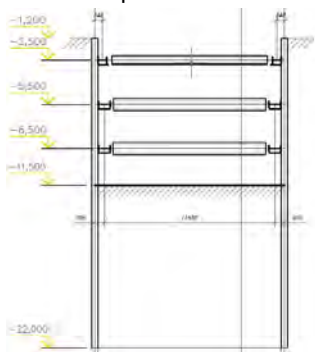
*Дом на Двинской ул.
перед обрушением.*

Для сложных объектов, таких как подземные объемы зданий в условиях плотной городской застройки, настоящий проектировщик обязательно предусмотрит процедуру, называемую на западе интерактивным проектированием или методом наблюдений. Этот метод позволяет решать сложные задачи, для которых не накоплен еще опыт строительства, не отработаны технические решения. Он позволяет исключить необоснованные и ненужные запасы и одновременно не допустить опасных дефицитов. Интерактивное проектирование организуется по схеме: базовый проект – опытная площадка – корректировка базового проекта. В базовом проекте закладываются сценарии проектных решений – от оптимистического до пессимистического. На опытной площадке, представляющей собой характерный фрагмент проектируемого объекта, измеряются деформации и усилия в грунте и конструкциях.

Для сложных объектов необходимо интерактивное проектирование по схеме: базовый проект – опытная площадка – корректировка базового проекта.

Определяется, какой же сценарий соответствует действительности. После этого при необходимости осуществляется корректировка проекта. Такой подход позволяет добиться максимальной экономии при обеспечении надежности. Опытную площадку часто можно устроить так, чтобы она являлась частью будущего сооружения. В этом случае дополнительные затраты требуются только на установку измерительного оборудования. Именно такой подход был применен нами при проектировании подземной части Второй сцены Мариинского театра. Результаты натурных измерений на этой площадке стали основой проектирования подземных сооружений в Санкт-Петербурге.

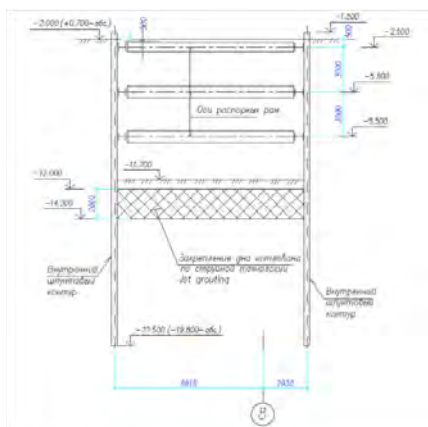
1. Базовый проект



2. Опытная площадка



3. Корректировка проекта



Принципиальная последовательность проектирования сложных объектов, исключая перерасход средств.

Вот несколько советов, как узнать, имеется ли в проектной организации настоящая проектная школа.

Первое, не верить вывескам даже старых институтов. Для многих из них все уже в прошлом. Доверять лучше именам.

Если Вам проектировщики неизвестны, обратите внимание на возрастной состав. В настоящей проектной школе более или менее равномерно представлены все возрастные группы: от 25-ти до 70-ти лет. Если по проекту принимает ключевые технические решения человек моложе 30 лет, отнеситесь к этому с сомнением. Очевидно, у него нет старших коллег и ему не у кого учиться.

Опира́ться можно только на то,
что сопро́тивляется.
Таков закон сопромата.
Он работает и в науке, и в бизнесе.

Обратите внимание, как проектировщик требует у Вас исходные данные. Настоящий Проектировщик придает этому чрезвычайно важное значение. Чем требовательнее проектировщик при приемке исходных данных, тем легче будет с ним работать. Идеальный вариант – когда инженерные изыскания заказывает тот, кто будет их использовать при проектировании.

Есть еще один признак Настоящего Проектировщика. Он широко мыслит, готов реализовывать смелые архитектурные идеи, но он будет настойчив в устранении архитектурных ошибок. Когда затрагиваются проблемы прочности, надежности и устойчивости конструкций, Настоящий Проектировщик становится несговорчивым. Он никогда не пойдет на компромиссы в ущерб безопасности жизнедеятельности. Уважаемый менеджер! Только на такого проектировщика можно положиться. Опира́ться можно только на то, что сопро́тивляется. Иначе провалитесь, как в болото. Таков закон сопромата. Он работает и в науке, и в бизнесе. Опира́ться на «ватных» подчиненных – это конец любого дела.

Часть вторая

дегустация расчетов

Данная часть является строго необязательной. Расчеты, особенно связанные с грунтами, являются весьма специфическим блюдом, которое не всем придется по вкусу. Поэтому те, кто не желает углубляться в особенности расчетов, могут поручить работу по оценке качества расчетов экспертам и пуститься в дальнейшее путешествие по геотехнике, перейдя к третьей части этой книжки.

НЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 8. О приемах экспертных оценок расчетов и компьютерных программах

Наверное, в каждой профессии специалисты любят удивить моментальными оценками сложных для непосвященного человека проблем. Некоторые врачи могут с первого взгляда на больного проставить диагноз. Инженеры тоже могут блеснуть моментальной оценкой проблемы. Конечно, здесь огромную роль играет опыт. Но одного опыта недостаточно. «Внутренний голос» может и ошибаться. Инженерные задачи очень многообразны, и редко можно встретить совершенно одинаковые проблемы. Интуиция работает только в области качественных оценок. «Почувствовать» численное значение расчетного параметра – задача непосильная для интуиции. Опытные инженеры-проектировщики всегда дают *количественную* оценку ситуации, пусть приближенную, но обязательно количественную. (Кстати сказать, следует опасаться инженеров, которые, поясняя Вам техническое решение, будут ссылаться только на опыт и интуицию, а не на расчеты. Может статься, что данный инженер просто не умеет считать).

**Не доверяйте одной интуиции.
«Внутренний голос» может
и ошибаться. Нужны расчеты.**

Очень любопытно наблюдать за общением начинающих инженеров с опытными проектировщиками. Молодой специалист, получив результаты расчета с помощью компьютерной программы, после недели упорного труда показывает их главному конструктору. Тот секунд за 30 с помощью простого бухгалтерского калькулятора изрекает вердикт о правильности или ошибочности расчетов. В чем же здесь хитрость? Неужели специалист способен заменить своей интуицией сложные компьютерные программы?

Нет, конечно. Искусство инженера – это, во многом, умение описать сложные явления пусть приближенными, но простыми и ясными расчетными схемами. Это искусство прикидочных оценок усилий в конструкциях. Таким приемам приближенных расчетов и посвящена данная глава.

**Искусство инженера –
умение описать сложные явления
ясными расчетными схемами.**

Приближенным оценкам в ВУЗах не учат, их Вы не найдете и в литературе. Дело в том, что такие прикидки – это, строго говоря, *не совсем правильные* расчеты. Они весьма грубые и приближенные, но позволяют получить верный порядок величин. Из-за грубости этих расчетов их не приводят ни в одном учебнике. Но на практике люди, которые делают долгий и трудный *правильный* расчет иногда не видят за деревьями леса. И в этом случае приближенная оценка очень полезна для выявления ошибок.

Что дает использование сертифицированных расчетных программ?

В последнее время инженеры все больше используют компьютерные программы для сложных расчетов. Умные люди понимают: что в программу заложишь – то и получишь. Что программа – это всего лишь инструмент, а, как известно, микроскопом можно и гвозди забивать. К сожалению, с распространением программ становится все больше горе-специалистов, которые, научившись нажимать на кнопки, думают, что они научились искусству расчетов. Часто они с важным видом изрекают: «у меня сложный расчет, сертифицированная программа, что вы тут мне со своим калькулятором доказываете?». Эта «компьютерная» болезнь за границей поразила, пожалуй, еще большую часть населения, поскольку там раньше стали пользоваться программами.

Однажды нам пришлось доказывать английским коллегам, что четырехэтажный паркинг никаким чудом не может передавать на основание нагрузку, сопоставимую с весом шестнадцатизэтажного дома. Ответ звучал так: «ничего не хотим знать, мы на компьютере посчитали». Можно считать хоть на счетах, хоть на компьютере – закон всемирного тяготения это не изменит.

Никакая трижды сертифицированная программа не гарантирует правильности расчетов. Разработчики программ **не несут никакой ответственности за результаты расчетов**. Если инженер ошибся – это его ошибка и его ответственность. Предметом *сертификации* программ является их соответствие отдельным положениям норм. При этом *сертификация* и *верификация* – понятия разные. Сертификация не подразумевает *верификации* т.е. более или менее подробной проверки результатов расчетов по программе.

Никакая трижды сертифицированная программа не гарантирует правильности расчета.

Правила строительной механики в нормах не излагаются. Поэтому сертификат не касается правильности вычисления усилий в элементах конструкций. Он касается только подбора программой арматуры, подбора сечений и т.п. Поэтому программу, которая, скажем, считает только усилия в балке (и не подбирает арматуру) сертифицировать невозможно. Отсюда следует печальный вывод, что сертификат – это, в общем-то, филькина грамота, которая помогает продавать коммерческие программы. Иногда несертифицированный расчет на бумажке в столбик может оказаться правильнее.

Это вовсе не означает, что нужно все считать «в столбик» и отказаться от программ. Просто мы, как разработчики одной из широко известных программ для расчета зданий и оснований

(*FEM models*), хорошо знаем, что безоглядное доверие к результатам компьютерного расчета крайне опасно. Нормальная реакция на результаты расчета – здоровое недоверие. Только после нескольких серий расчетов (в том числе и аналитических) по объекту можно делать вывод о справедливости их результатов.

Нормальная реакция на результаты расчета – здоровое недоверие.

В чем сложность создания простых программ расчета по формулам СНиП?

Казалось бы, создание конечно-элементных программ существенно сложнее, чем простых программ расчета по формулам нормативных документов. Действительно, в конечно-элементные программы вкладывается значительно более изощренная математика, чем простая арифметика формул инженерных расчетов. Тем не менее «глюки» в простых программах встречаются даже чаще, чем в сложных конечно-элементных комплексах. В чем же здесь дело?

Тем, кто когда-нибудь серьезно занимался программированием, известно, что большая часть времени программиста уходит не на написание программы, а на ее отладку. Порой легче написать сложный комплекс программ по расчету методом конечных элементов, чем учесть все примечания и условия к какой-нибудь таблице норм. Поскольку строительные нормы часто носят эмпирический характер, алгоритмы расчетов по их формулам отличаются большим количеством условий. Программисты знают, что при отладке программ необходимо проверить, как работает каждое ответвление алгоритма. Чтобы проследить за изгибами всех веток этого раскидистого дерева, нужно создать огромное количество тестовых примеров. В результате полная проверка всех возможностей работы программы становится весьма трудоемкой,

а иногда и практически невозможной. Приведем простой пример, поясняющий сложность отладки такого рода программ. Пусть в программу заложена таблица эмпирических коэффициентов размером, скажем, 10×10 клеток. В одной из клеток программистом допущена ошибка – записано не то число. В результате 99 тестов будут абсолютно правильными, и лишь 1 выдаст полный бред. «Изловить» такую ошибку в программе очень сложно.

Отсюда следует простой вывод: здоровое недоверие должно присутствовать и при использовании результатов простых программ расчета по формулам строительных норм. Конечно, есть хорошие и совершенно безупречные программы. Однако принцип «черного ящика» (когда не видно, что происходит с нашими исходными данными в процессе расчета) представляется достаточно опасным для инженерных расчетов. Инженер, выполняя расчет, должен все-таки осознавать, что он делает в процессе вычислений. Конечно, мы не предлагаем забросить компьютеры и считать все при помощи логарифмической линейки. Более перспективным представляется выполнение расчетов в удобных математических пакетах, типа MathCAD, в которых виден весь текст (и главное – суть) расчета, а компьютер помогает выполнять арифметические действия.

Как проверять результаты компьютерных расчетов?

Главная проблема компьютерных расчетов методом конечных элементов – сложность их проверки. По-настоящему, проверить расчет может только сам расчетчик или эксперт, которому выданы все файлы. Можно, конечно, проверить расчет, повторив его с самого начала (кстати, именно так и полагается делать за рубежом).

В качестве результата расчетов заказчику выдается набор красивых картинок, которым предлагается поверить. К сожалению, неотразимость компьютерной графики не является признаком

правильности полученных результатов. Как же оценить корректность расчетов?

Существует рекомендация экспертизы проверять расчет по двум разным программам. Смысла в такой проверке мало. Если две программы решают одинаковую задачу похожими способами, то заложенная в расчет ошибка приведет к одинаковым (но ошибочным) результатам. С другой стороны, особенности математического описания элементов разных программ могут давать расхождение в так называемых «особых» точках (где точное решение с помощью метода конечных элементов не получить). Неискушенному в особенностях численных расчетов эксперту будет казаться, что результаты существенно различаются, а, следовательно, какой-то из расчетов ошибочен.

На самом деле следует сравнивать расчеты по разным расчетным схемам, с разной разбивкой на конечные элементы, с разными типами элементов, с использованием различных подходов, в том числе и простых аналитических. Сделать это можно и в рамках одной расчетной программы. Требование считать по разным программам позволяет помочь, разве что, их продавать (именно с этой целью такое требование и появилось).

Оценить уровень расчетчика можно, попросив его объяснить результаты расчета.

Оценить уровень расчетчика можно, попросив его объяснить результаты расчета. Настоящий расчетчик считает работу законченной, только в том случае, когда в результатах расчета нет ни одного непонятного эффекта. Если же в ответ Вы услышите: «так получилось», «так программа посчитала» – это не тот человек, который Вам нужен. Для выявления причин всех явлений, как правило, вместо одной задачи приходится решить десяток, применяя различные расчетные модели, меняя расчетные схемы.

Только когда вся серия по-разному решенных задач приводит к одному и тому же выводу, можно считать результат заслуживающим доверия. Конечно, такую работу обязан проводить сам расчетчик. Для сторонней же проверки можно применить простые приемы и правила, которые мы и приводим ниже.

Когда вся серия по-разному решенных задач приводит к одному и тому же выводу – получен верный результат.

Как проверить сбор нагрузок на основание?

Такая задача возникает очень часто. Конечно, для сбора нагрузок полагается внимательно посчитать вес всех конструкций, по нормам взять временные нагрузки от людей, мебели, снега и т.п. Но для оценки порядка величин можно использовать простой прием. Кубометр здания весит 0.5 тонны (или 5 кН, кому в каких единицах удобнее). Этот прием мы проверяли на разных зданиях, от стандартной пятиэтажки до четырехсотметрового небоскреба – в целом он хорошо работает. Различия, конечно, есть (иногда здание бывает немного легче, иногда – немного тяжелее), но еще раз повторим, для оценки порядка величин этого вполне достаточно. В соответствии с этим правилом здание в 5 этажей передает на основание среднее давление приблизительно равное: 5 этажей $\times$ 3 метра $\times$ 5 кН = 75 кПа, здание высотой 16 этажей: $16 \times 3 \times 5 = 240$ кПа.

С помощью несложной арифметики можно легко проверить, например, количество свай под зданием. Для этого можно взять площадь этажа, умножить на высоту здания (получим его объем) и умножить на 0.5 тонны. Получим вес здания в тоннах. Затем его можно разделить на принятую в проекте расчетную нагрузку на сваи (которая должна быть указана в проекте свайного фундамента). В результате Вы получите необходимое количество свай. Ре-

альное количество свай обычно получается немного больше. Дело в том, что всегда есть места, где сваи нужно поставить, как говорят проектировщики, «по конструктивным соображениям». Коэффициент конструктивной расстановки свай, как правило, составляет 1.1... 1.2. Если количество свай более, чем в 1.5 раза превышает необходимое, скорее всего проектировщик уже договорился с подрядчиком. Бывает, конечно, и совершенно бескорыстная некомпетентность. На одном из объектов – высотном здании – проектировщики разместили в основании в 4 раза больше свай, чем нужно. При этом подрядчики вовсе не были счастливы, поскольку сваи при этом были установлены так густо, что их невозможно было выполнить.

Как оценить качество расчета по виду расчетной схемы?

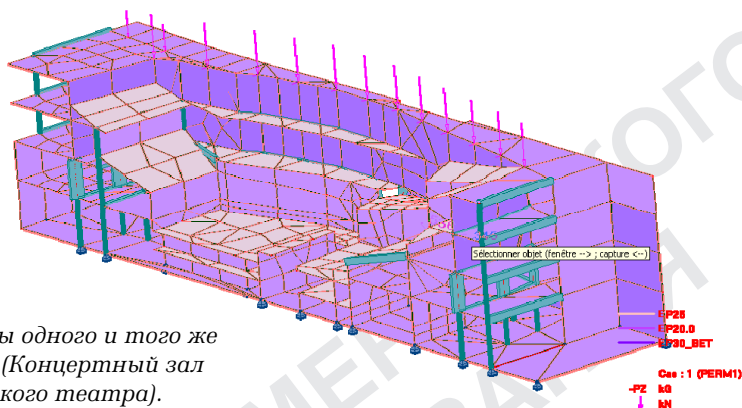
Расчетные схемы метода конечных элементов, как известно, состоят из отдельных элементиков. Для зданий это, как правило, пластины стен и перекрытий, а также стержневые элементы колонн. По внешнему виду схемы можно сделать некоторые выводы.

Каждая расчетная схема должна соответствовать цели расчета. Одна и та же расчетная схема может быть корректна для одной цели и некорректна для другой.

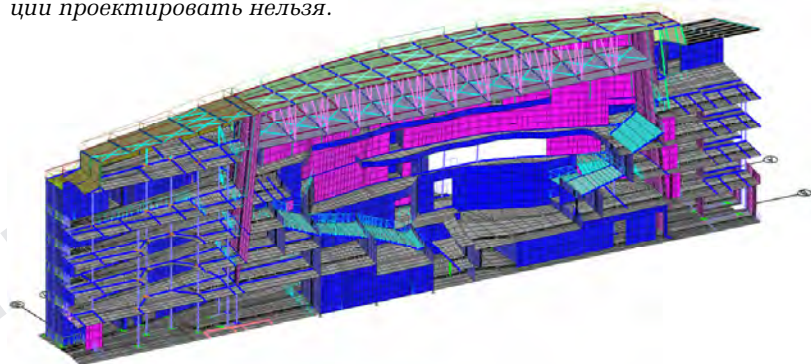
Если цель расчета – собрать нагрузки на основание и оценить в целом как себя ведет здание, какова его общая жесткость, какова неравномерность осадок – для такого расчета можно использовать достаточно грубую схему, скажем, с одним конечным элементом на высоту этажа для стен и по 1... 2 конечных элемента на пролет перекрытий. Но по такой схеме нельзя считать усилия в конструкциях!

Если Вам представляют картинки армирования перекрытий с разбивкой менее 4 элементов на пролет между несущими стенами – Вам однозначно пытаются «повесить лапшу на уши». Конечные элементы в этом случае просто не могут должным обра-

зом изобразить изгиб плиты перекрытия между несущими стенами, а величины изгибных усилий являются крайне неточными. В этом случае дай Бог, чтобы опытный проектировщик просто проигнорировал результаты такого расчета и пересчитал перекрытие сам.



Две схемы одного и того же объекта (Концертный зал Мариинского театра). По верхней схеме конструкции проектировать нельзя.



К сожалению, бывают случаи слепого доверия к результатам расчета. Одну фундаментную плиту горе-проектировщик запроектировал в точности по результатам машинного расчета – в чертежах почти на каждом квадратном метре плиты стояла своя арматурная сетка с арматурой в точности по компьютерной картинке. Только вот беда, расчетная модель была мало того, что грубая, но и вообще ошибочная, и рабочую арматуру нужно было ставить с другой стороны плиты.

В оценке результатов расчетов по методу конечных элементов нужно помнить, что этот метод – численный, а это значит, что его точность всегда ограничена. Задача грамотного расчетчика – не только знать границы, в которых результат точен, но также знать *какой* результат точен в *каких* границах. Например, грубая сетка для подбора арматуры не годится.

**Задача грамотного проектировщика –
знать, какой результат точен
в каких границах.**

При расчетах здания совместно с основанием следует обратить внимание на размер расчетной схемы основания. Если в схеме моделируется грунт (в плоской или пространственной постановке), то размеры массива грунта должны быть достаточно большими. Расчетную схему следует «обрезать» на расстоянии не менее 2...3 величин сжимаемой толщи по всем направлениям от края здания. Особенно следует обращать внимание на размеры схемы при расчете ограждения котлованов. В последнее время нам на экспертизу часто приносили схемы, в которых ограждение котлована практически «привязано» к краю конечно-элементной сетки (за пределами котлована нарисована зона грунта шириной, скажем, 10 метров при глубине ограждения 30 м). В этом случае ограждение «держится» за края схемы и не падает, что бесконечно радует горе-расчетчика. Однако на стройплощадке, при всем желании, иллюзорный «край расчетной схемы» не сможет включиться в работу основания.

Как быстро оценить достаточность армирования железобетонного элемента?

Как известно, в железобетоне бетон работает на сжатие, а арматура – на растяжение. Поэтому при изгибе предельный момент создает предельное усилие в растянутой арматуре, помноженное

на расстояние до центра сжатой зоны бетона. Студентов учат делать такой расчет правильно, с определением размеров этой сжатой зоны. А можно посчитать приближенно, но зато гораздо проще, взяв расстояние до центра сжатой зоны «на глаз». Тогда вся проверка будет заключаться в перемножении трех чисел: площади арматуры, ее расчетного сопротивления (365000 кПа или 36500 т/м^2) и этого расстояния. Площадь арматуры удобно брать по таблицам или посчитать по школьной формуле площади круга (при дальнейшем расчете нужно только не забыть перевести единицы измерений из сантиметров или миллиметров в метры).

Например, мы имеем плиту толщиной 800 мм с армированием арматурой АIII диаметром 20 мм и с шагом 200 мм. На 1 метр плиты получается 5 стержней. По таблице (или по площади круга) находим площадь 5 арматурных стержней: 15.7 см^2 или 0.00157 м^2 . Возьмем приблизительно расстояние от арматуры до центра сжатой зоны 0.75 м (убрав из расчета защитные слои бетона). Умножив площадь арматуры на ее расчетное сопротивление и на это расстояние, получим:

$$0.75 \times 365000 \times 0.00157 = 429.8 \text{ кНм}$$

Точное значение предельного момента (если все посчитать детально) составляет 427 кНм, так что для приближенной оценки наше решение вполне годится.

Глава 9. О расчетах осадок зданий

Разговор об оценке результатов расчета осадок зданий получается значительно длиннее, поскольку расчет осадок – задача очень непростая. Поэтому разобьем вопрос на несколько более мелких тем и начнем с расчета осадок по методикам, изложенным в нормативных документах.

Нормативные методы и их корректность

Еще совсем недавно нормативных документах можно было найти несколько расчетных методов для вычисления осадок зданий:

- метод послойного суммирования СНиП 2.02.01-83*;
- метод линейно-деформируемого слоя СНиП 2.02.01-83*;
- модификация метода послойного суммирования СП 50-101-2004;
- метод расчета осадок свайных фундаментов СП 50-102-2003;
- метод расчета осадок плитно-свайных фундаментов СП 50-102-2003.

Первые три метода основаны на одной и той же математике – решении задачи Буссинеска о силе, приложенной к границе упругого бесконечного полупространства. Казалось бы, общность математики должна приводить к близости решений. Но не тут-то было.

Все нормативные методы расчета осадки искусственно ограничивают глубину сжимаемой толщи.

Дело в том, что напрямую посчитать осадку по теории упругости не выйдет. И не только потому, что грунт работает нелинейно. По теории упругости деформации весьма медленно затухают с глубиной под фундаментом. Если просуммировать всю

эпюру напряжений до центра Земли, мы получим совершенно нереальное значение. Поэтому все существующие методы ограничивают глубину сжимаемой толщи каким-нибудь способом. В методе послойного суммирования сжимаемая толщина ограничивается глубиной, на которой дополнительные напряжения от фундамента не превышают 20% от напряжений, вызванных собственным весом вышележащих слоев грунта. В методе линейно-деформируемого слоя глубина сжимаемой толщи слабо зависит от напряжений, а определяется, в основном, шириной фундамента. В СП 50-101-2004 ввели новую модификацию метода послойного суммирования, устранив метод линейно-деформируемого слоя и изменив критерий ограничения сжимаемой толщи для широких фундаментов (50% вместо 20% напряжений от собственного веса). Стоит ли говорить, что это изменение кардинально влияет на величину осадки.

Методы расчета осадок **свайных фундаментов** основаны на следующем подходе: по полуэмпирической формуле рассчитывается осадка одной сваи, а затем по таблицам выполняется переход к осадкам группы свай. Не залезая в научные дебри, следует сказать, что такой подход, по меньшей мере, дискуссионен. Как известно, одна свая работает, в основном, по боковой поверхности, когда же мы считаем осадки свайного куста или свайного поля, общепринятым является подход «условного фундамента», объединяющего все сваи по их нижнему концу. Между одной сваей и условным фундаментом в рамках всего свайного поля есть качественная, а не только количественная разница. Главная же особенность такого подхода к расчету осадок заключается в том, что на переходе от осадки одной сваи к осадке группы можно, кажется, насчитать любую величину осадки. В СП 50-102-2003 после длинного описания метода расчета осадок плитно-свайного фундамента, словно в насмешку, предлагалось пересчитать для проверки осадку старым добрым методом послойного суммирования.

Итак, у нас есть несколько методов с совершенно разными эмпирическими подходами к расчету осадок. Само собой, одина-

ковые величины осадок по этим методам не получаются, и инженер останется в недоумении перед рядом чисел, в несколько раз отличающихся друг от друга. Какому же методу верить? Ответ на этот вопрос может дать только опытный геотехник. Может показаться, что все это специально придумано, чтобы отбить у инженера-строителя всякое желание заниматься расчетом осадок и обеспечить работой геотехника. Но мы попытаемся распутать эту запутанную историю.

Сопоставление расчетов осадок с натурными наблюдениями.

Как известно, критерий истины – практика. Казалось бы, в мире построены миллионы зданий, давно существуют и геодезические приборы. За многие годы должна была накопиться колоссальная база данных по осадкам зданий и на основе наблюдений можно построить весьма точную теорию расчета осадок. Увы, это далеко не так.

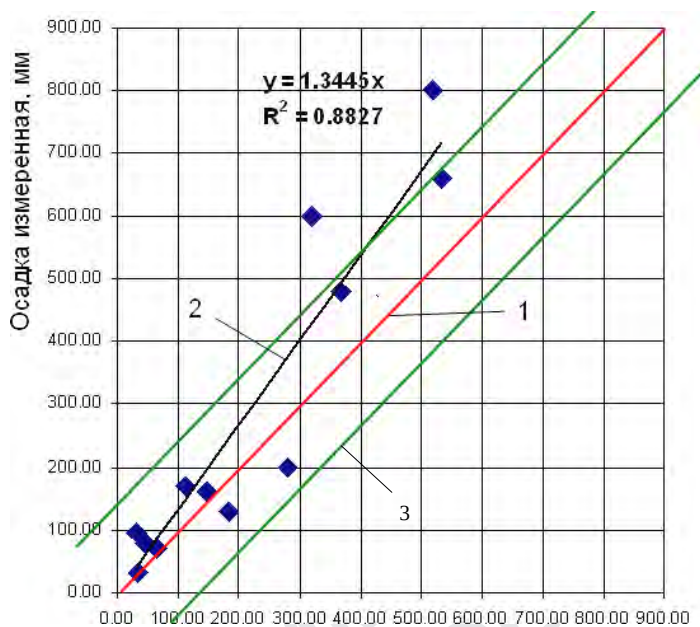
Начиная работу в Техническом комитете 38 «Взаимодействие зданий и оснований» Международного общества геотехников, мы наивно полагали, что за границей-то полно наблюдений за осадками зданий. Однако наши коллеги нам резонно заметили, что при длительных измерениях эти осадки могут получиться больше, чем ожидалось. Кто тогда за это ответит (и заплатит)? Поэтому участники строительства предпочитают не наблюдать за осадками зданий после завершения строительства. Похожая ситуация наблюдается и в нашей стране. Как правило, наблюдения проводятся в период строительства здания, когда большая часть осадок еще не успевает реализоваться. Длительные наблюдения за осадками обычно организуются в том случае, когда при строительстве возникли проблемы. При этом могут затрагиваться интересы многих участников процесса и поэтому данными измерений делиться неохотно. В итоге результатов измерений для построения научных теорий явно не хватает. Ведь для разработки теории расчета осадок нужно собрать воедино информацию о конструк-

ции здания, геологии участка и результаты самих наблюдений. Задача эта весьма непростая.

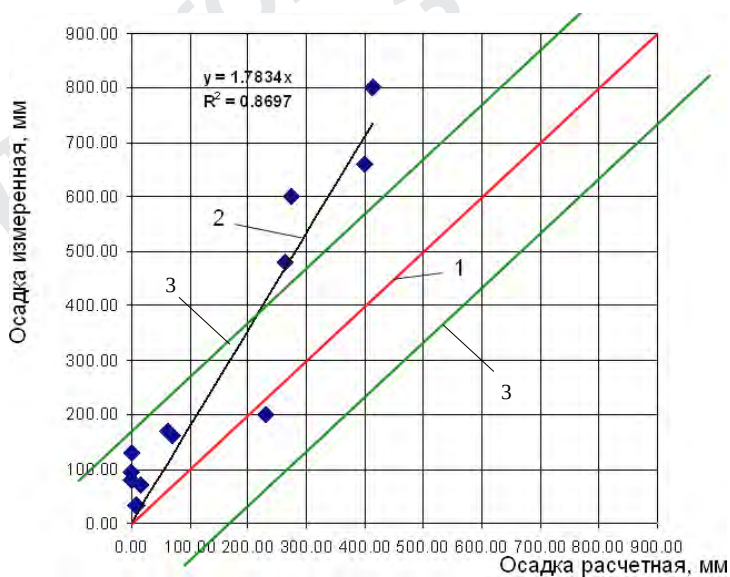
Для Петербурга нам удалось создать базу данных по длительным наблюдениям за осадками зданий, состоящую из 15 объектов. Для такого большого города это ужасно мало. Но сегодня эта база – одна из самых представительных в мире. Всеми правдами и неправдами мы пытаемся пополнять эту копилку. Пока же приведем статистику по этим 15 объектам.

Сразу же необходимо рассказать об одной сложности, которая возникает при сопоставлении расчетов и данных наблюдений. Какую осадку следует считать конечной? Как правило, реальные наблюдения имеют вид плавно загибающейся кривой. У этой кривой есть одна особенность. Ее психологическое воздействие сильно зависит от масштаба, в котором она построена. Если растянуть горизонтальный масштаб, будет казаться, что осадки затухают. Если, наоборот, растянуть вертикальный масштаб, то покажется, что никакого затухания нет. Поэтому нужно смотреть на числа. Затухание осадок – это не более 5 мм в год, чего в Петербурге не всегда удается дожидаться. На многих объектах из собранной нами базы стабилизации осадок не наблюдалось. Поэтому понятие «конечная осадка» к этим наблюдениям применить можно только условно (за конечную осадку принимались результаты последних наблюдений). Конечная же осадка, очевидно, будет большей, но кто знает, какой? В каком-то смысле понятие конечной осадки похоже на показания остановившихся часов, которые дважды в сутки показывают точное время. Так и любая заданная конечная осадка (разумной величины, конечно) когда-нибудь произойдет. Нужно только вовремя заявить о совпадении своих расчетов с наблюдениями! Поэтому надо говорить не о конечной осадке, а о текущей, развивающейся во времени.

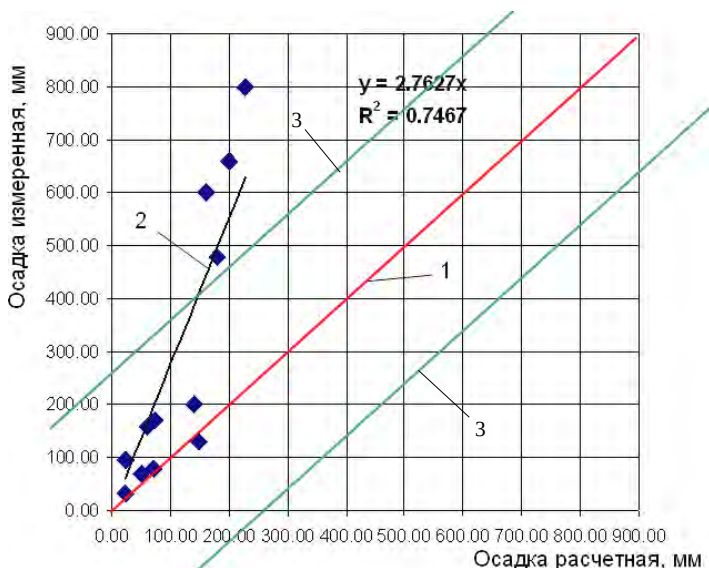
а)



б)



е)



Сопоставление результатов расчетов с данными натурных наблюдений за осадками. а) по СНиП 2.02.01-83, б) по СП 50-101-2004, в) по методу Егорова. 1 – прямая идеального совпадения расчетных и наблюдаемых осадков; 2 – их линейная аппроксимация; 3 – среднеквадратическое отклонение.

**Лучше всего работает метод
послойного суммирования СНиП:
он ошибается «всего» на 30%.**

Итак, сопоставим данные расчетов по разным методам и данные наблюдений. Сопоставление графически удобно изобразить следующим образом: по горизонтали отложим расчетную осадку, а по вертикали – измеренную. Если они совпадают, то точки должны лежать вдоль прямой, под углом 45 градусов. Если точки группируются вдоль другой прямой – метод несколько искажает действительность. Если точки сильно разбросаны – метод в слабой степени отражает суть явления. Как видно из рисунков, хорошего совпадения для простых инженерных методов расчета, в общем, не наблюдается. Лучше всего работает старый добрый ме-

тод послойного суммирования – он врет в среднем «всего» на 30%. Осадки по другим методам в несколько раз отличаются от наблюдений. На этом месте геотехникам следовало бы посыпать головы пеплом и попытаться найти другую профессию, признав, что такая точность сравнима с гаданием на кофейной гуще. Неужели современная наука ничего не может предложить для улучшения точности расчетов? Попытаемся выяснить причину такой поразительно низкой точности прогнозов.

Причина низкой точности инженерных методов расчетов.

Причина низкой точности инженерных методов на самом деле очень проста. Все, кто когда-нибудь изучал сопротивление материалов, знают, что даже у самого простого упругого материала, как минимум, две независимых характеристики работы (модуль упругости и коэффициент Пуассона). А у грунта (судя по геологическим отчетам) почему-то одна – только модуль деформации. Куда делась вторая характеристика? Оказывается, ее не определяют, а принимают по таблицам. Определив (с грехом пополам) только одну деформационную характеристику работы грунта, мы надеемся получить высокую точность. Это все равно, что придумать методику вычисления веса людей по их росту. Для людей нормальной комплекции она будет как-то работать. Но ведь бывают и низкорослые толстяки и худые великаны! Очевидно, чтобы улучшить метод расчета, нужно точнее описать объект – ввести, хотя бы, обмер в уровне талии.

Для исследования свойств грунта придуманы специальные приборы – стабилометры, позволяющие получить все нужные механические характеристики грунта, а для описания его работы созданы десятки различных нелинейных моделей механики грунтов, содержащих множество разных параметров. Но беда в том, что стабилометрические испытания выполняют редко, а традиционные для нашей практики изыскания ничего не предлагают нам, кроме одного модуля деформации. В этой ситуации

использовать сложные нелинейные модели бессмысленно – все остальные параметры этих моделей придется выдумать.

Причина низкой точности инженерных методов расчета осадки в том, что работу грунта нельзя описать одним параметром.

Таким образом, причина низкой точности простейших методов расчета осадок заключается в том, что работу грунта *нельзя описать одним параметром*. Это, в общем-то, очевидное утверждение. Но для того, чтобы исправить ситуацию, необходимо перестроить всю систему, начиная от инженерно-геологических изысканий. Необходимо, чтобы инвестор заказывал более подробные геологические изыскания с определением специальных параметров сложных моделей механики грунтов в трехосных испытаниях (в стабилометрах). Программа таких изысканий должна быть написана геотехником. Необходимо, чтобы геолог понимал, какие параметры он должен определить для геотехника. Необходимо, наконец, чтобы геотехник умел пользоваться при расчетах сложными нелинейными моделями и проектировал с учетом этих расчетов. Вся эта цепочка, к сожалению, в подавляющем большинстве случаев не работает. Геолог и геотехник-расчетчик часто находятся в разных организациях и не хотят понимать друг друга. В результате даже при достаточно подробных геологических изысканиях не всегда получается адекватное моделирование основания здания.

Для одного из домов в центре города наши европейские коллеги запроектировали опирание свай на твердые глины венда (которые, как мы рассказывали в главе по геологии, являются лучшим видом грунтов в Петербурге, до которых можно добраться сваями). По их расчетам вышло, что здание высотой около 40 м будет иметь осадку 9 см. Другие наши иностранные коллеги,

оперев здание высотой 400 м на те же твердые глины, получили осадку 2.5 см. Осадка в 10 раз более высокого здания у них получилась в 3.5 раза меньше! Очевидно, что здесь кто-то не прав (точнее, не правы и те, и другие).

Посмотрим, что может получиться, если попытаться перестроить всю систему геотехнических расчетов и вычислять осадки, исходя из двух деформационных характеристик работы грунта с использованием эффективных нелинейных моделей, построенных по данным стабилометрических испытаний.

Несколько слов о нелинейных моделях работы грунта

На эту тему вообще-то можно написать не одну книгу. Но мы попытаемся высказать только несколько самых важных замечаний, не углубляясь в эту сложную материю.

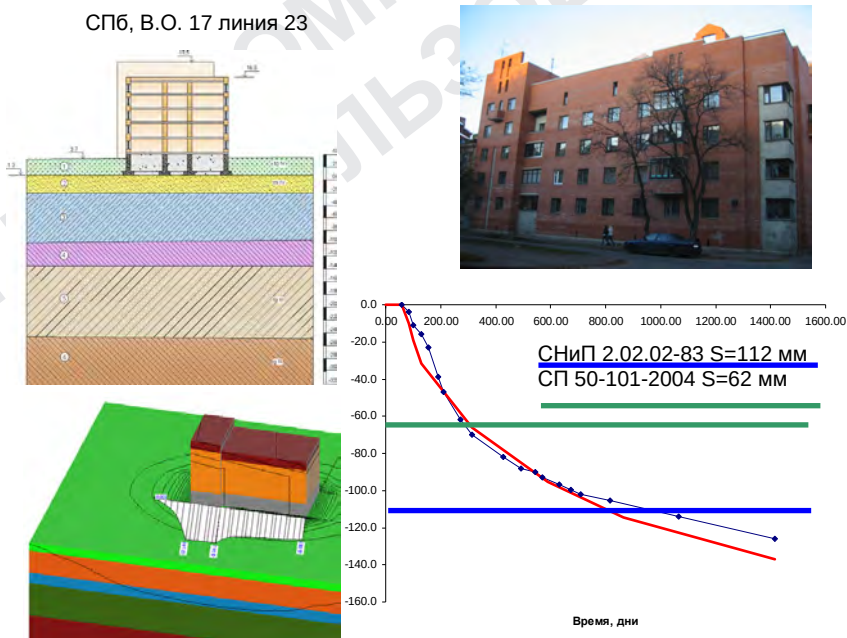
Некоторые расчетчики скажут: знаем мы эти нелинейные модели – добавляем прочностные характеристики грунта и считаем с тем же модулем деформации. Такую модель обычно называют «модель Кулона-Мора» (правильнее называть ее «идеально упруго-пластическая модель с предельной поверхностью, описываемой критерием Кулона-Мора», но такое название долго выговаривать). К сожалению, для расчета осадок она не дает ничего нового по сравнению с методом послойного суммирования. Действительно, давление на основание мы всегда ограничиваем и оно всегда весьма далеко от предельного (когда получается выпор из-под подошвы). А это значит, что нелинейность будет весьма слабой и незначительной. Поэтому, если расчетчик получил с использованием этой модели что-то принципиально новое по сравнению с методом послойного суммирования – значит, он либо сам себя запутал, либо пытается запутать Вас.

Кроме простейшей модели Кулона-Мора создано огромное количество более сложных и гораздо более корректных моделей работы грунта, позволяющих описать нелинейное сжатие грунта и нелинейный сдвиг по результатам трехосных испытаний. При-

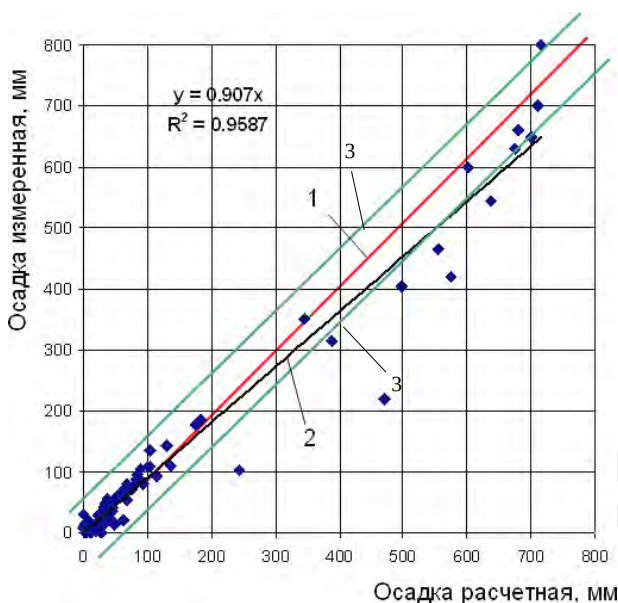
мерами наиболее эффективных моделей является Hardening Soil Model программы PLAXIS или вязкопластическая модель нашей программы *FEM models*.

Применение нелинейных моделей для расчета осадок

Для 15 объектов из собранной нами базы данных по специально разработанным корреляционным зависимостям удалось воссоздать данные подробных испытаний грунта и определить параметры нелинейной модели. Далее оставалось дело техники – задать для всех зданий расчетные схемы по одинаковому принципу и посчитать осадки. Для каждого здания с помощью вязкопластической модели программы *FEM models* рассчитывалась осадка во времени. На рисунке изображен пример сопоставления кривых развития осадок по расчету и по наблюдениям. Такой подход с моделированием процесса развития осадки позволяет избавиться от вопроса о конечной осадке и более корректно сопоставить расчеты и измерения.



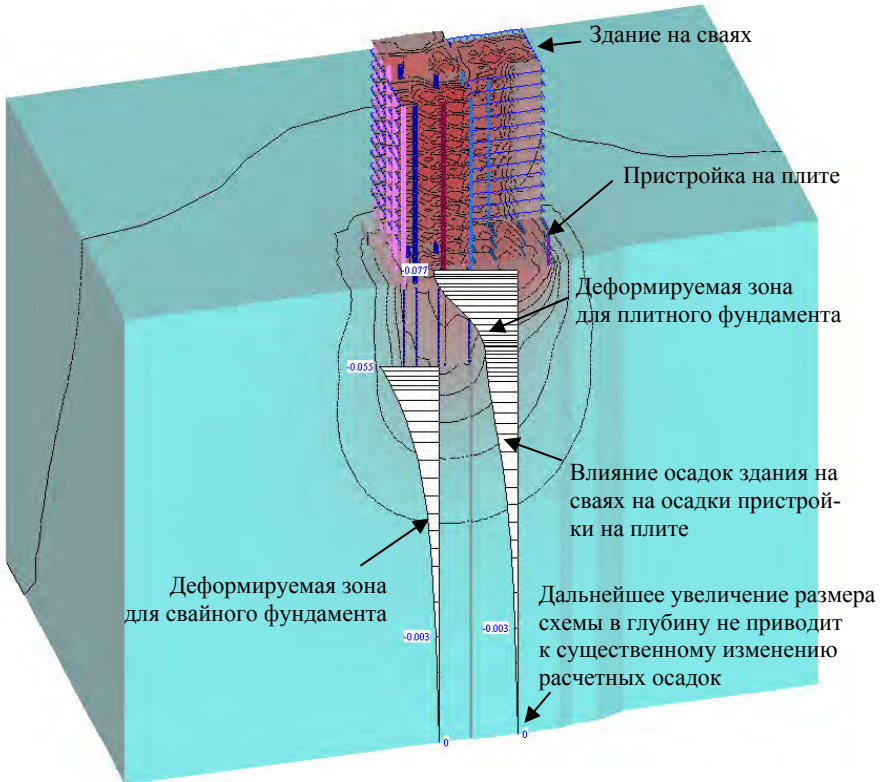
Данные наблюдений и расчет осадок разными методами для одного из объектов из базы данных.



Сопоставление результатов расчетов по вязкопластической модели с данными натурных наблюдений за осадками: 1– прямая идеального совпадения расчетных и наблюдаемых осадок; 2– их линейная аппроксимация; 3– среднеквадратическое отклонение.

Проведем статистическую обработку результатов. Как и ранее по горизонтали отложим расчетную осадку, а по вертикали – наблюдаемую. Число точек увеличилось, поскольку сравнение производится для разных периодов времени – через месяц, год, пять лет после окончания строительства и т.п. Попадают и не очень удачные совпадения – на рисунке можно найти точки, в которых расчеты и измерения отличаются в 2 раза. Но таких точек немного. Среднеквадратическое отклонение (которое характеризует, насколько метод расчета вообще отражает рассматриваемое явление) существенно сократилось. И, главное, величина средней ошибки составляет всего 10%. Еще одно преимущество таких расчетов заключается в том, что удалось, наконец, избавиться от искусственного ограничения сжимаемой толщи, которое неизбежно при применении более простых подходов. Здесь нелинейная модель сама ограничивает деформируемую зону в основании.

Вязкопластическая модель
сама ограничивает деформируемую
зону в основании.
Искусственные приемы не нужны.



Преимущества применения нелинейных моделей при расчете осадок: зона деформаций ограничивается автоматически, возможно корректно рассчитать взаимное влияние плитного и свайного фундаментов.

В принципе, такой результат (после угнетающего пессимизма в отношении упрощенных инженерных методов) внушает определенную уверенность. Он свидетельствует о том, что выбранный

путь – более тщательный учет особенностей работы грунта – правильный. На этом пути, конечно, еще многое предстоит сделать. Прежде всего, нужно привыкнуть выполнять качественные инженерно-геологические изыскания.

Принцип тут простой. Если делать простые дешевые изыскания, можно сэкономить на этом небольшие деньги. Точность расчетов при этом, как мы убедились, составит, в лучшем случае, $\pm 30\%$, а иногда и существенно хуже. Это вынуждает проектировщика заложить запас в конструкции. Разумным при такой точности расчетов является коэффициент запаса 2...3. В результате экономии на изысканиях получаем перерасход материалов. Их стоимость будет значительно выше, чем цена любых изысканий, поскольку для создания сооружения, более или менее безразличного к величине ожидаемых осадок, нужны специальные дорогие технические решения.

**Залог эффективности проекта –
слаженная работа геолога, геотехника
и проектировщика.**

Но есть и другой путь – выполнить качественные (и поэтому чуть более дорогие) инженерно-геологические изыскания. Но чтобы дорогие изыскания принесли прибыль инвестору, должна работать слаженная команда: геолог, геотехник-расчетчик, геотехник-проектировщик. Только когда геолог понимает, какие характеристики он должен выдать расчетчику, расчетчик понимает, как работает грунт в лабораторных испытаниях, а проектировщик понимает, как использовать геотехнические расчеты, можно ожидать, что запроектированная конструкция будет оптимальной по затратам и одновременно достаточно надежной. Именно такой принцип работы реализован в институте «Геореконструкция».

Использование упрощенных моделей основания (коэффициентов постели)

В практике проектирования часто применяются упрощенные модели основания. Самой простой моделью является одноконстантная модель (Винклера). В этой модели осадка точки основания пропорциональна давлению в этой точке. Коэффициент пропорциональности (коэффициент постели) характеризует жесткость пружинки, установленной в каждой точке основания. При расчете плит пружинки «размазываются» равномерно по площади плиты. Не увлекаясь формулами и оттолкнувшись от термина «коэффициент постели», можно образно представить себе эту модель как пружинный диван с содранной обшивкой, от которого остались одни пружины. Аналогия дает правильное представление и о работе модели: там, где мы сели на диван (приложили нагрузку), пружины просядут (будет деформация). Соседние пружины (на которые нагрузка не прикладывалась) не сожмутся. Научно говоря, модель не описывает распределительную способность грунта. Конечно, она весьма далека от действительности. В реальности нагрузка, приложенная в каком-либо месте, вызывает осадки в пределах целой воронки оседания.

Для исправления недостатков простейшей модели Винклера было разработано множество ее модификаций – с двумя или тремя коэффициентами постели. В отечественной практике наиболее распространена модель Пастернака с двумя коэффициентами постели (за рубежом эта модель, напротив, почти неизвестна). Продолжая нашу «диванную аналогию», можно сказать, что эти разновидности моделей соответствуют пружинному дивану с той или иной обшивкой по верху пружин. При правильном подборе параметров модель Пастернака способна изобразить воронку оседания грунта вокруг нагруженной площади.

Есть еще один подход к упрощению работы основания – использование одного, но переменного коэффициента постели. Действительно, жесткость основания можно найти очень просто,

если поделить давление по площади на осадку. В результате мы получим поле переменных по площади коэффициентов постели. Беда этой модели заключается в том, что для ее использования нужно заранее знать результат расчета. Выход из положения может быть найден в итерационном алгоритме решения: сначала задаемся нагрузкой на основание, затем считаем осадку, затем делим нагрузку на осадку (получаем коэффициенты постели), затем на них считаем сооружение и опять получаем нагрузку на основание. Все это нужно повторять, пока не получится достаточная точность. Если не забывать о необходимости повторения в этом алгоритме, то получается правильно, но долго. Если не делать повторений – быстро, но неправильно.

**Упрощенные модели с использованием
коэффициентов постели
безнадежно устарели.**

В целом, говоря о коэффициентах постели можно сказать, что сегодня эти модели уже безнадежно устарели. При грамотном подборе параметров они, в лучшем случае, позволяют изобразить с некоторой погрешностью упругое основание (т.е. ту же модель, что и в инженерных методах, со всеми ее недостатками и низкой точностью прогноза осадок). Но в современных программах упругое основание гораздо проще и красивее моделировать объемными упругими элементами. Сегодня вычислительные возможности компьютеров вполне позволяют это сделать. При таком подходе не нужно подбирать коэффициенты постели и сложнее совершить ошибки, о которых мы кратко поговорим ниже.

Типичные ошибки при использовании коэффициентов постели

К сожалению, наша практика экспертизы расчетов свидетельствует, что при использовании коэффициентов постели 90% инженеров совершают грубые ошибки. Это связано и с недостатком литературы по этим вопросам, и с нежеланием отдельных специалистов разбираться в деталях работы основания и в особенностях его моделирования.

Ошибка №1. Занижение второго коэффициента постели в модели Пастернака. Трудно сказать, откуда взялся миф, что второй коэффициент в этой модели можно задавать в долях от первого. Если внимательно посмотреть на формулы для коэффициентов постели, то выяснится, что эти коэффициенты имеют даже разные размерности. Как правило, при большой сжимаемой толще в стандартных единицах измерения (кН и метры или тонны и метры) численное значение второго коэффициента должно быть даже больше, чем первого. Если второй коэффициент задан ниже первого, то модель вырождается в Винклеровскую, а расчетчик занят активным самообманом, делая вид, что считает по модели Пастернака.

Ошибка №2. Отсутствие законтурных областей в модели Пастернака. Модель эта, как мы уже говорили, создана, чтобы учесть такое явление, как воронка оседания вокруг зоны приложения нагрузки. Поэтому расчетчики, которые не вводят в расчет области за пределами плиты, просто не понимают, как работает модель. Часто эта ошибка соседствует с первой, причем иногда расчетчик свято верит, что введение законтурной области ничего не дает. Действительно если совершить ошибку №1 (т.е. считать фактически по модели Винклера), то введение области за пределами плиты ничего и не даст.

Ошибка №3. Неверное назначение величин коэффициента постели. Как мы уже говорили, коэффициенты постели, в лучшем случае, способны с грехом пополам изобразить упругое ос-

нование. Поэтому их нужно подбирать так, чтобы получаемая осадка имела хотя бы близкий порядок величин с осадкой, вычисленной по инженерным методам. Иногда приходится встречаться с утверждением, что с помощью коэффициентов постели мы определяем неравномерность осадок, а не саму осадку. Это, конечно же, неправильно. Если мы существенно ошиблись в величине осадки, то, естественно, мы неправильно посчитали и ее неравномерность.

Глава 10. О приемах экспертной оценки корректности геотехнических расчетов

Простейшее правило проверки численных расчетов взаимодействия здания и основания

Итак, мы, наконец, добрались до самого главного в этой части – правил проверки геотехнических расчетов. Вам принесли расчеты проектируемого здания (петербургские нормы требуют собрать все расчеты основания здания в томик под названием «Геотехническое обоснование»). По современным нормам для любого здания (если оно сложнее сарая) необходимо выполнить расчет с учетом взаимодействия с основанием. Покажем, как можно быстро и эффективно оценить качество выполненной работы.

Прежде всего, нужно посмотреть, сделан ли расчет осадок здания методом послойного суммирования по СНиП 2.02.01-83* (другие инженерные методы для петербургских условий лучше не применять). Если такого расчета нет – смело отправляйте исполнителя доделывать свою работу. Даже самые изощренные методы расчета следует сопоставлять с инженерной методикой. Отсутствие такого простейшего расчета есть просто проявление лени, какими бы учеными словами ее не пытались скрыть. Можно критиковать точность такого расчета, но привести его результаты нужно обязательно и это обсуждению не подлежит.

Теперь посмотрим на красивые картинки компьютерного расчета взаимодействия здания и основания. Из текста выясняем, какой моделью пользовался расчетчик. Если это коэффициенты постели, упругое основание, «модель Кулона-Мора», «модель Друкера-Прагера», или что-либо подобное, то величина осадки, как мы уже говорили, не должна существенно расходиться с методом послойного суммирования. Закономерные отличия могут получаться только при использовании более сложных упрочняющихся моделей грунта. Если применяются такие модели (например, Hardening Soil Model (HSM) программы PLAXIS или вяз-

копластическая модель программы *FEM models*) – тогда для проверки результатов можно воспользоваться советами из следующего раздела.

Если не использовались сложные модели, а результаты расчета сильно отличаются от метода послойного суммирования СНиП – значит, допущена ошибка.

 Итак, если в тексте не упоминаются сложные нелинейные модели грунта, то нам достаточно просто сравнить расчет по методу послойного суммирования и осадки по компьютерному расчету. Различия порядка 30% возможны (точность самого метода послойного суммирования не лучше $\pm 30\%$). Но если различия больше – смело отправляйте расчетчика читать ученые книжки и переделывать расчеты. А еще лучше обратиться к специалисту, который уже прочел эти книжки и не делает таких элементарных ошибок.

Простые правила использования сложных моделей

Теперь рассмотрим более сложный случай, когда в расчете использованы продвинутые нелинейные модели грунта, например, вязкопластическая модель программы *FEM models* или Hardening Soil Models программы PLAXIS. При использовании этих моделей расчетчик с полным правом может заявить, что они более корректно учитывают работу грунта, чем простейшие инженерные методы расчета. Все это так, но вспомним, что сложные модели обладают и более сложным набором параметров. Только при правильном назначении этих параметров модель будет отражать работу грунта.

Поэтому, рассматривая результаты расчетов по сложным моделям, целесообразно задаться вопросом: откуда получены многочисленные параметры этих моделей? В стандартной для отече-

ственной практики геологии этих параметров нет. Например, откуда расчетчик задаст стабилметрический модуль деформации, если стабилметрических испытаний не выполнялось? К сожалению, во многих случаях окажется, что параметры были взяты «с потолка». В этом случае следует ожидать и «среднепотолочного» результата расчетов. Такой подход дискредитирует саму идею применения сложных моделей. Этому, к сожалению, способствуют и разработчики некоторых программ. Понятно – им нужно продать свою продукцию, поэтому программы часто «по умолчанию» сами назначают недостающие параметры. Точность такого назначения – абсолютно случайная. Это все равно, что определять геологические параметры с помощью датчика случайных чисел. В результате геотехника из точной науки превращается в гадание на кофейной гуще, только с применением вычислительной техники.

**Без подробных изысканий
сложные модели применять нельзя.**



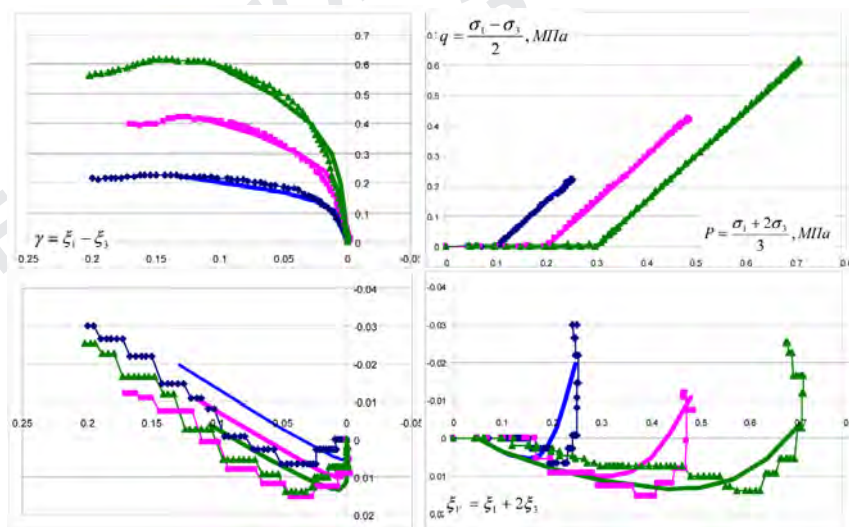
Таким образом, первое простое правило использования сложных моделей: ***без подробных инженерно-геологических изысканий с лабораторными испытаниями (в том числе стабилметрическими) сложные модели механики грунтов применять нельзя.***

Допустим, у нас есть эти долгожданные высококачественные инженерно-геологические изыскания, в которых, наконец, выполнены требования норм и сделаны надлежащие лабораторные испытания. Как проверить, правильно ли заданы расчетчиком параметры модели?

**Модель должна описывать
лабораторный опыт.**

! Второе простое правило: *модель должна с удовлетворительной точностью описывать результаты лабораторных испытаний грунта*. В геотехническом обосновании *должны быть приведены доказательства этого*: результат моделирования компрессионных испытаний должен совпадать с компрессионной кривой; моделирование трехосных испытаний должно давать такую же кривую, что и в лабораторных опытах. Если в геотехническом обосновании такого сравнения нет – вероятно, расчетчик не умеет правильно подбирать параметры модели, а значит и не умеет ею пользоваться. На этом этапе дилетанты сами собой устроятся: они просто не смогут смоделировать лабораторные испытания, поскольку слабо представляют, как это делается.

Однажды нам на экспертизу принесли расчет по программе PLAXIS. На наш вопрос по поводу принятой в расчете компрессионной кривой, авторы расчета удивленно спросили: «А что это такое?» Это твердая двойка на экзамене по механике грунтов.



Пример подбора параметров нелинейной модели по «паспорту» стабилометрических испытаний. Точками изображены опытные данные, сплошными линиями – моделирование эксперимента.

Конечно, у горе-расчетчиков остается возможность подтасовать результаты сравнения с лабораторными испытаниями, подделав соответствующую кривую от руки. Такая опасность, в принципе, есть всегда, результаты расчетов тоже при желании можно «нарисовать» в графическом редакторе. Единственное спасение от этого – хоть сколь-нибудь уважающий себя специалист этого делать не будет, а у дилетанта при подтасовке, как правило, торчат «ослиные уши».

Расчеты должны быть сопоставлены с натурными наблюдениями.



И, наконец, третье простое правило использования сложных моделей: ***результаты расчетов должны быть сопоставлены с опытом натурных наблюдений в регионе.***

Это простое правило совсем не просто выполнить. Нам потребовалось около двух лет, чтобы собрать данные наблюдений за осадками зданий и протестировать результаты расчета по собственной нелинейной модели. Итоги сравнения расчетов с наблюдениями приведены выше в главе 9. Только после этого можно с уверенностью использовать сложную нелинейную модель в проектной практике. Без такого самообучения пользоваться сложными моделями нельзя. Здесь уместна аналогия с обычными инструментами работы – чем они сложнее, тем дольше нужно учиться ими пользоваться. При неумелой работе молотком, в худшем случае, можно попасть по пальцам или разбить стекло. Оседлав же без должного умения трактор или экскаватор, можно добиться более заметных последствий.

В геотехническом обосновании должны быть приведены результаты сравнения расчетов по используемой модели с натурными экспериментами, доказывающие, что ее применение позволяет получить хорошую точность расчетов. При этом опытные данные должны относиться к аналогичному типу грунтов.

Сложными моделями должны пользоваться только специалисты в области геотехнических расчетов.

Очевидно, что третье правило может быть выполнено только профессионалами, специализирующимися в области геотехнических расчетов, поскольку у других специалистов просто не хватит ни времени, ни знаний для подробного тестирования расчетных моделей. Поэтому последнее и самое простое правило использования сложных моделей выглядит так: **ими должны пользоваться только специалисты в области геотехнических расчетов**. Таких специалистов в мире, к сожалению, очень немного. Как правило, это люди, которые сами занимаются разработкой расчетных программ или нелинейных моделей механики грунтов, что вполне естественно, поскольку глубокое знание особенностей построения моделей и расчетных программ часто ведет к желанию их усовершенствовать. Поэтому при выборе расчетчика предпочтение лучше отдать специалистам, которые занимаются научной деятельностью в области численных расчетов. Такие специалисты лучше всего разбираются в особенностях сложных программ и нелинейных моделей и смогут наиболее грамотно выполнить расчеты. Конечно, наука, как мы уже говорили, должна органично сочетаться с практикой проектирования.

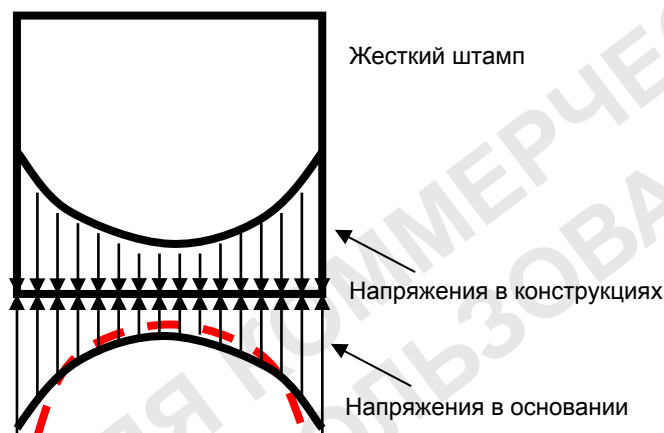
Глава 11. Основные эффекты, проявляющиеся при совместных расчетах оснований и конструкций зданий

Исторически при проектировании конструкций зданий сложилось разделение труда: работу конструкций (иногда, включая фундаменты) рассматривает инженер-конструктор, а работу грунтового основания – геотехник. Такая специализация вполне понятна: конструктор имеет дело с искусственно полученными объектами – железобетонными, металлическими и другими конструкциями, а геотехник – с природной средой – грунтом. Механизм взаимодействия конструкторов и геотехников в российской (да и в мировой) практике обычно таков. Конструктор передает геотехнику информацию о нагрузках от здания на основание. При этом сбор нагрузок, независимо от того, выполнен он вручную или является продуктом решения конечно-элементной задачи расчета надземных конструкций, осуществляется без учета деформируемости основания. Иными словами, расчет нагрузок на основание производится так, как если бы здание стояло на некоем жестком столе. Геотехник получает эти нагрузки от здания и прикладывает их как гибкие (!) к основанию, которое моделирует, используя достижения механики грунтов. Спрашивается: какое у нас основание – абсолютно жесткое (как думает конструктор) или податливое (как справедливо полагает геотехник); какое у нас здание – гибкое (как моделирует геотехник) или конечной жесткости (как представляется конструктору)? Выход из этой ситуации кажется весьма простым: необходимо рассчитывать здание совместно с его основанием. Это требование уже давно содержится в российских нормативных документах.

Приятно отметить, что в области учета взаимодействия конструкций и основания наша страна не отстала от других стран, а, наоборот, находится на первых позициях в научном мире. Признанием заслуг российских ученых стало то, что Россия возглавила Технический комитет №207 «Взаимодействие основания и сооружений. Подпорные стены» Международного общества геотех-

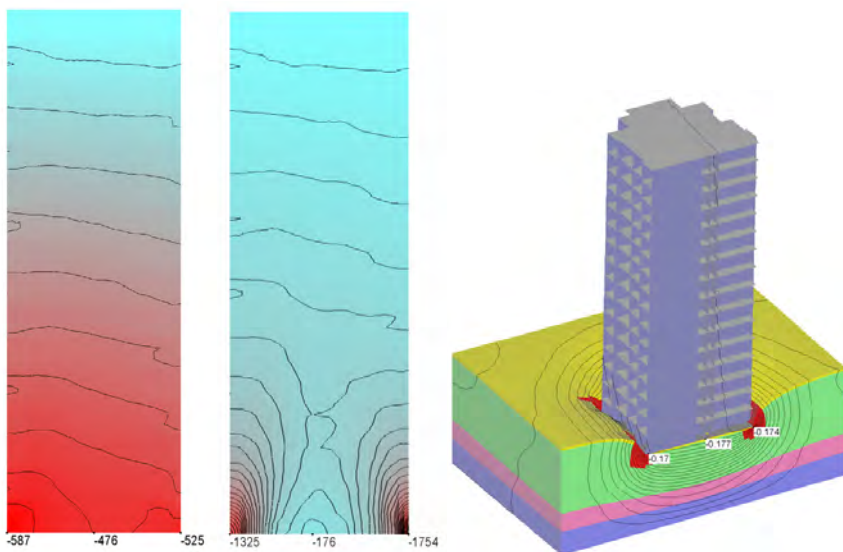
ников ISSMGE, профессор В.М. Улицкий является председателем этого комитета.

Рассмотрим основные эффекты, проявляющиеся при совместном расчете здания и нелинейно-деформируемого основания. Эти эффекты известны с момента появления механики грунтов. Их «новизна» является, скорее, психологической проблемой, возникшей из-за традиционной разобщенности расчетов зданий и их оснований. В любом учебнике по механике грунтов мы обнаружим хорошо известную эпюру контактных давлений под жестким штампом.

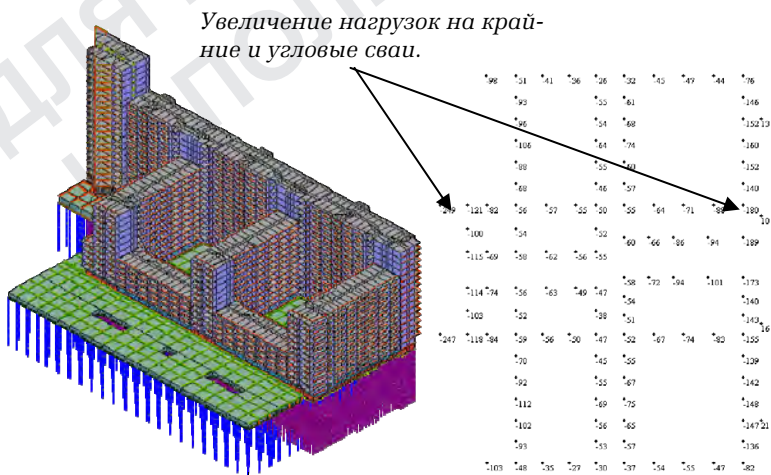


Теоретические напряжения в упругом полупространстве.

Для теоретического решения упругой задачи она имеет параболический вид с выходом в бесконечность в краевых зонах. Для реальных грунтов она имеет характерную седлообразную форму, которая изменяется при значительных давлениях, когда здание близко к состоянию потери устойчивости. Очевидно, что усилия в самом штампе будут такими же. Поэтому не стоит удивляться, если при замене штампа реальной конструкцией здания вертикальные нормальные напряжения в краевых зонах окажутся сильно возросшими. Увеличение проявляется в зоне, высота которой примерно равна ширине здания.



Усилия (кН/м) в поперечной стене здания на естественном основании: слева – по раздельному расчету, без учета работы основания, (усиления просто увеличиваются книзу), справа – по совместному расчету, в котором наблюдаются концентрации усилий в краевых участках.



Распределение усилий в свайном фундаменте по результатам совместного расчета.

Эта закономерность характерна для зданий как на естественном основании, так и на свайных фундаментах. В свайном поле эффект жесткости здания приводит к увеличению нагрузок на сваи краевых зон и разгрузке свай в центре здания. Этот общепризнанный факт подтвержден многочисленными измерениями.

**Эффект совместных расчетов:
концентрация усилий в краевых зонах
(как в надземных конструкциях,
так и в свайном поле).**

Кратко основной эффект учета пространственной работы основания и взаимодействия с конструкциями здания можно изложить достаточно просто. Основание всегда, так или иначе, пытается «согнуть» наше сооружение (даже когда нагрузки от него близки к равномерным). Сооружение же в силу своих возможностей пытается воспрепятствовать этому изгибу. В результате в конструкциях возникают дополнительные напряжения, которые обязательно нужно учитывать при проектировании конструкций. Особенно это становится важным для зданий и сооружений со сложными конструктивными схемами: в них перераспределение напряжений может привести к весьма хитрой игре усилий.

При всей простоте и ясности описанного эффекта совместных расчетов решение конкретных задач является достаточно сложным. Ведь проектировщику важно не абстрактное знание о наличии эффекта, а его конкретное численное выражение. Сам эффект проявляется даже при простых упругих расчетах. Однако, как мы видели выше, точность таких расчетов весьма невысока и совершенно недостаточна для проектирования конструкций. Поэтому применение совместных расчетов на практике напрямую связано с использованием сложных нелинейных моделей работы грунта, которые позволяют сделать геотехнические расчеты более точными.

К сожалению, на практике некоторые расчетчики пытаются выдать за учет взаимодействия с основанием расчеты зданий «на пружинках». Как мы уже указывали в предыдущей главе, такие подходы безнадежно устарели. Пружинки не могут адекватно изобразить основание, а, главное, не могут правильно описать неравномерности его осадок, которые и являются самыми существенными при расчете конструкций. При использовании таких подходов проектировщику надземных конструкций следует пояснить, что поскольку точность расчетов деформаций грунтов невелика, усилия в конструкциях вычислены с точностью плюс-минус 50%. После этого здравомыслящий проектировщик выкинет такие расчеты и просто заложит в конструкции двойной запас (за счет средств инвестора, конечно).

Поэтому грамотный учет взаимодействия основания и надземных конструкций предусматривает использование сложных нелинейных моделей грунта, простые правила использования которых приведены выше.

Глава 12. Расчеты ограждений котлованов и подземных сооружений в плотной городской застройке

Данная тема очень актуальна для Санкт-Петербурга. Чтобы развиваться, городу необходимы подземные парковки, транспортные развязки, склады и т.п. В инженерно-геологических условиях Петербурга подземное строительство представляет собой очень сложную задачу. Непростыми оказываются и расчеты ограждающих конструкций.

Для строительства в городской застройке совершенно недостаточно просто посчитать устойчивость ограждения: оно-то, может, и не упадет, зато передвинется или прогнется, в результате чего рухнет стоящее рядом здание. Необходимо также выполнить расчет деформаций ограждения и осадок окружающей застройки.

В таких расчетах нужно учесть очень многое: порядок производства работ, жесткость ограждения, скорость экскавации грунта, особенности работы грунта с учетом скорости производства работ и т.п. При этом нужно учитывать историю нагружения основания, моделировать существующие здания и оценивать их ожидаемые дополнительные осадки на каждом этапе работ. Суммарные расчетные осадки не должны превышать нормативных ограничений (как правило, для исторических зданий – не более 2...3 см).

Упрощенные линейные модели здесь совершенно беспомощны. Как правило, нельзя использовать в таких расчетах и простейшую идеально упруго-пластическую модель с критерием прочности Кулона-Мора («модель Кулона-Мора»). Она неправильно описывает работу грунта при снятии нагрузки в процессе экскавации грунта – в результате дно котлована «подскакивает» на неимоверную величину, да еще порой тянет за собой вверх соседние здания. В реальности же эти здания получают осадку вниз. Среди расчетов, попадавших к нам на экспертизу, был один курьезный случай, когда автор расчета получил подъем территории в радиусе 50 м вокруг подземного сооружения, и к тому же

еще предлагал мероприятия по борьбе с этим мифическим явлением.

Типичной ошибкой при расчете по программе PLAXIS является неправильное назначение уровня грунтовых вод. Достаточно забыть об одном действии (нарисовать измененное положение уровня воды в котловане) – и чудесным образом давление на ограждение котлована уменьшается почти в 2 раза! При этом программа не сигнализирует расчетчику о данной оплошности и просто считает котлован, заполненный водой. Увы, с такой ошибкой часто приходится встречаться при экспертизе расчетов. Поскольку подрядчики явно будут возражать против подводного бетонирования, следовало бы выдать авторам таких расчетов акваланги и ласты для подводной раскладки арматуры на глубине нескольких метров.

При расчете ограждения котлованов в условиях городской застройки наилучшие результаты позволяет получить применение сложных нелинейных моделей грунта. Опыт показывает, что деформации ограждения котлована происходят во времени, поэтому желательно моделировать процесс откопки котлована специальными реологическими моделями с учетом реальных сроков выполнения этапов работ. Модели работы грунта должны быть протестированы путем сравнения расчетов с данными натурных экспериментов. Для этого нами было организовано несколько опытных площадок по устройству котлованов на территории города. На этих площадках вязкопластическая модель программы *FEM models* прошла всестороннюю проверку.

**Откопку котлована необходимо
моделировать с помощью
реологических зависимостей,
с учетом реальных сроков работ.**



Опытные площадки по устройству глубоких котлованов на территории Санкт-Петербурга с подробным мониторингом поведения грунта

**Не стесняйтесь обращаться
к специалистам в области
геотехнических расчетов.**

В целом, поскольку при расчете ограждения котлованов невозможно обойтись без сложных моделей механики грунтов, при анализе этих расчетов можно рекомендовать воспользоваться изложенными выше простыми правилами использования сложных геотехнических моделей. Главное из них: не стесняйтесь обращаться к специалистам в области геотехнических расчетов.

Часть третья

*тур по геотехническому
строительству*

НЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 13 – о выборе подрядчика

Допустим, у Вас есть проект, разработанный Настоящим Проектировщиком, а значит, у Вас есть и Геотехническое обоснование.

В Геотехническом обосновании уже выбраны конкретные щадящие технологии строительства Вашего объекта. Теперь, наконец, пришло время строить.

Полагаем, что Настоящий Проектировщик уже побудил Вас к знакомству с потенциальными подрядчиками и теперь осталось сделать Ваш выбор.

Здесь уместны те же советы, что и при выборе проектировщика. Не верьте словам. На словах у нас все могут всё. Не полнитесь съездить на объекты Вашего Подрядчика и посетить его базу. Действительно, все это его – или «Маркиза Карабаса»?

Советуем насторожиться, если подрядчик сходу начинает рационализировать проект. Иногда «рапухи» звучат заманчиво. Но, чаще всего, это все то же воровство надежности, о котором мы уже говорили.

Представьте себе, Вы пришли в аптеку с рецептом, а провизор, который знает Вас уже целые 2 секунды, заявляет, что доктор ошибся и Вам требуются другие лекарства. Лучше проконсультроваться у другого врача, чем довериться фармацевту.

Проектировщик и подрядчик будут взаимодействовать до самого окончания строительства. Заказчик заключает с проектировщиком договор на авторский надзор с тем, чтобы автор проекта контролировал соответствие чертежам того, что сделано на площадке.

В дополнение к этому часто подрядчик или заказчик просит проектировщика вести техническое сопровождение стройки – решать возникающие по её ходу технические вопросы.

Очень полезно для правильного выбора подрядчика посмотреть построенные им объекты. Весьма разумно при этом обратить внимание на соседние здания. Если они затянуты щитами с

нарисованными фасадами (как те произведения искусства, которыми мы с вами любовались десяток лет возле отеля «Невский Палас») – значит подрядчик преувеличивает успешность строительства. Иногда же вид соседних зданий может насторожить подозрительно недавно законченным ремонтом.

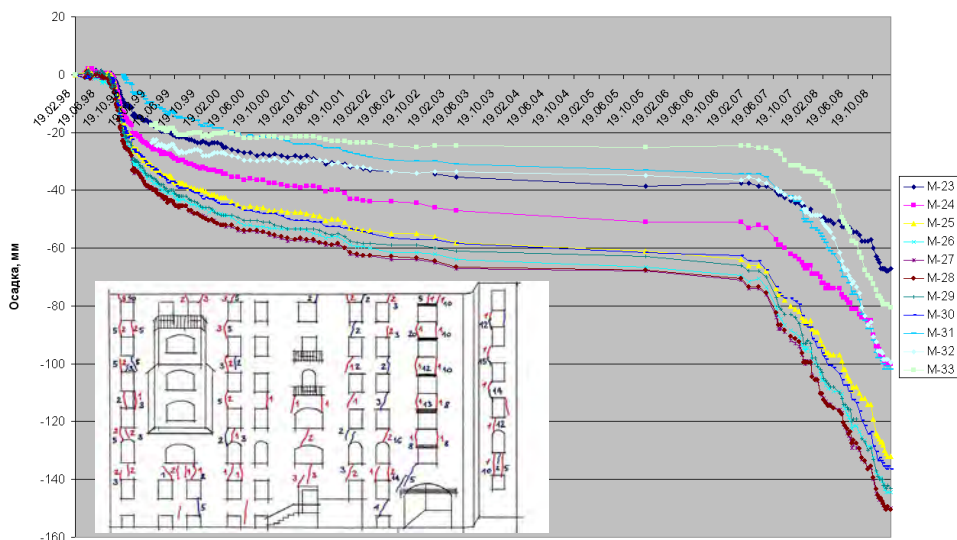
При выборе подрядчика не верьте одним словам. Посмотрите его объекты и посетите базу.

Попросите подрядчика показать результаты наблюдений за осадками соседних зданий. Можете быть уверены, если в действительности все было настолько хорошо, как вам рассказывают, подрядчик непременно с гордостью покажет результаты наблюдений. Если возникают затруднения – видно, результат был не настолько хорош.

Вот недавний пример. Знаменитая площадка – долгострой в центре города. На ней сначала иностранцы погубили два здания-памятника архитектуры и «уронили» на 7 см один из крупнейших доходных домов Петербурга. Спустя десять лет стройку возобновили и довели осадку доходного дома до 15 см.

К нашему великому удивлению эта стройка сегодня преподносится как пример успешного поземного строительства в центре города. Действительно, радуется, что хотя бы одно из окружающих площадку зданий уцелело!

Нашлись даже такие, с позволения сказать, титулованные «эксперты», которые заявляют, что ничего страшного не произошло: на 15 см села только одна стенка. Инженеру-строителю тут впору только развести руками: поистине, называться профессором еще не значит быть инженером.



Осадки дома на Лиговском пр. с 1998 г от двух этапов строительства и картина развития трещин на дворовом фасаде (синим цветом показаны трещины, образовавшиеся после первого этапа строительства, красным – после второго).

Глава 14 – о геотехнологиях

Итак, стройка идет. Посмотрим, какие геотехнологии используются в современном строительстве. Но прежде вооружимся несколькими полезными правилами, важными для наших питерских грунтовых условий и состояния существующей застройки.

 **Правило первое.** Нет *a priori* безопасных геотехнологий. Каждая геотехнология должна быть приспособлена к грунтовым условиям нашего региона. На опытной площадке геотехник должен инструментально измерить ее влияние на грунты основания. Эта процедура называется *апробацией*. Если геотехнология оказывает негативное влияние, геотехник, прежде всего, определит причину и, при возможности, попытается свести его к минимуму, найти щадящие технологические режимы. Эта процедура называется *адаптацией* геотехнологии к инженерно-геологическим условиям строительной площадки.

 **Правило второе.** Ни одна геотехнология не должна применяться без мониторинга. Подробнее об этом мы с Вами поговорим в главе 16.

 **Правило третье.** Штурмовщина и геотехнология – две вещи несовместные. Грунты – природная среда, а природа не терпит насилия. Интенсивные воздействия на грунты приводят к их расструктуриванию. Слабый грунт превращается в тяжелую жидкость. Кроме того, при штурмовщине всегда нарушаются щадящие технологические режимы.

Нет *a priori* безопасных технологий.

 **Правило четвертое.** Забивать сваи в центре города нельзя. Погружать сваи вибрацией (даже высокочастотной) – крайне опасно. Сваи, изготовленные на заводе, можно только вдавливать.



Правило пятое. Вдавливать сваи надо с предельной осторожностью, ограничиваясь всего двумя–четырьмя штуками в сутки в 10-метровой зоне примыкания к соседней застройке.

Ни одна геотехнология не должна применяться без мониторинга.



Правило шестое, вытекающее из первого: буровые сваи не панацея от всех бед. Есть технологии, которые позволяют изготавливать по 10-12 буровых свай в смену. Но опыт показывает, что они безопасны для соседней застройки, когда изготавливают всего 2-4 сваи в смену (смотри правило три).

Еще каких-нибудь 15 лет назад весь арсенал свайных технологий исчерпывался сваями забивными и сваями вдавливаемыми. Сегодня на российском рынке имеется множество западных технологий устройства буровых свай. Часто под разными названиями скрываются очень похожие технологии. Чтобы Вам легче было сориентироваться в этом многообразии, мы сгруппировали все способы устройства свай в таблицу. Технологии объединены нами по способам изготовления, которых совсем немного. Если Вам попадется геотехнология с каким-нибудь экзотическим названием, поинтересуйтесь, каким способом формируется свая – и Вы найдете ее место в таблице. Разным способам изготовления свай мы поставили разные школьные отметки на основании многолетнего опыта проведения мониторинга в Санкт-Петербурге.

Типичный отстающий – это **технология забивки** свай. Ее запрещено применять ближе 20 м от существующих зданий, а лучше не применять вовсе в кварталах сложившейся застройки. «В чистом поле» для технологии запретов нет. Нужно лишь следить за грамотным подбором сваебойного оборудования. Если сваи плохо забиваются, они могут разрушиться. При забивке оче-

редной сваи ранее забитые могут подниматься, резко снижая свою несущую способность.

**Штурмовщина и геотехнология –
две вещи несовместные.**

Иногда свайное поле может превратиться в свайный лес, для которого потребуются свайные лесорубы. В этом случае кто-то точно ошибся: или геолог, или проектировщик, или подрядчик, назначивший технологию забивки. Правильно ли последний подобрал вес молота, энергию удара, не следовало ли предварительно пробурить лидерную скважину?



*Свайный
лес вместо
свайного
поля.*

Про **вибропогружение** свай достаточно сказать, что оно не менее опасно для существующей застройки и при этом менее технологично, чем забивка.

Технологии устройства свайных фундаментов

Таблица

Место изготовления	Метод устройства	Разновидность метода	Примеры оборудования	Что может быть плохо?	Как обеспечить безопасность соседних зданий?	Оценка по безопасности
1	2	3	4	5	6	7
А. Сваи заводского изготовления	А.1. Забивка	А.1.1 С фиксированной высотой падения молота	Дизель-молоты, гидромолоты	Сильные ударные воздействия	В чистом поле	1
		А.1.2 С переменной высотой падения молота	«Юнттан» и др.			
	А.2 Вибропогружение	А.2.1 Высокочастотное	ВШ	Сильные вибрационные воздействия	В чистом поле	1
		А.2.2 Высокочастотное безрезонансное	ВШ 402, «Виброфонсер», «Тюнkers» и др.			
	А.3 Вдавливание	А.3.1 С помощью грузовой платформы	Установка треста № 101	Подъем поверхности, свай, соседних зданий. Осадки от тяжелой техники.	2-4 сваи в сутки в зоне примыкания	3-
		А.3.2 Тяжелой самоходной установкой	УСВ120, УСВ120М			
Б. Изготовление свай в грунте	Б.1 Извлечение грунта из скважин	Б.1.1 Под защитой бентонитового раствора	«Franki»	Шлохой раствор = Бракованная свая = осадки зданий	Контроль качества раствора	5-
		Б.1.2 Под защитой обсадной трубы	Фирмы «Bauer», «Cazagrande», «Юнттан», установка «Double rotary»	Перебор грунта = осадки зданий	Контроль грунтовой пробки и заливка водой «по горлышко»	5

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Б. Изготовленные сваи в грунте	Б.2 Вкручивание пуансона	Б.2.1 Без выбуривания грунта (вкручиваемые сваи):		Подъем поверхности, соседних зданий, порча сырых свай	2-4 сваи в сутки в зоне примыкания	3
		а) с формированием гладкого ствола сваи	Фирмы «Fundex»			
		б) с формированием «нарезки» на стволе сваи	Фирмы «Franki» станок «Atlas»			
		Б.2.2 С частичным выбуриванием грунта (проходной шнек)		Неконтролируемый перебор грунта = осадки зданий	В чистом поле	1
		а) шнек набран на всю длину сваи (технология СГА)	Выпускается многими фирмами			
		б) шнек набирается из стыкуемых звеньев	Самоделки			
	Б.3 Скважина формируется специальными механизмами	Б.3.1 Выштамповывание скважины	Пневмопробойник	Сильные динамические воздействия	В чистом поле	1
		Б.3.2 Уширение скважины с помощью электрогидравлического эффекта	Электрогидравлический разрядник			
		Б.3.3 «Раскатка» скважины меньшего диаметра	DDS	Подъем поверхности, соседних зданий, порча сырых свай	2-4 сваи в сутки в зоне примыкания	3

Вдавливание свай в 80-х годах прошлого века многие считали панацеей для безопасного строительства в городе. Думали, что при вдавливании свай происходит благотворное уплотнение грунта (и при этом без всякой, заметьте, динамики). Пожалуй, только мудрый Борис Иванович Далматов, наш Учитель, был настроен скептически. Он предостерегал, что в глинистых грунтах вместо уплотнения происходит перемятие с вытеснением в стороны. Действительно, попробуйте уплотнить кисель в чашке, тыча ложкой. Эта метафора, хотя, быть может, и вульгарна, но вполне уместна.

Если говорить научным языком, петербургский слабый грунт представляет собой дисперсную структурированную систему, состоящую из дисперсной фазы (глинистых частиц), и дисперсионной среды (воды), иммобилизованной в порах структурного каркаса, образованного глинистыми частицами и связанной этими частицами водой. Такие среды в науке называют гелями (другая транскрипция – желе), а по-русски – кисель и есть (хотя и очень густой).



Сваевдавливающая установка UCSB120 М.

Вдавливание свай в этот кисель приводит к поднятию поверхности, выпору ранее погруженных свай и даже соседних зданий. Иногда сваи вылезали на 20–30 см, а здания поднимались на 3–5 см. Вылезшие сваи можно, конечно, допогрузить. А вот соседнее здание после подъема начинает допогружаться само по себе, поскольку мы перемяли (расструктурили) грунт в его основании.

В 10-метровой зоне примыкания к соседним зданиям технологию вдавливания свай следует применять с великой осторожностью.

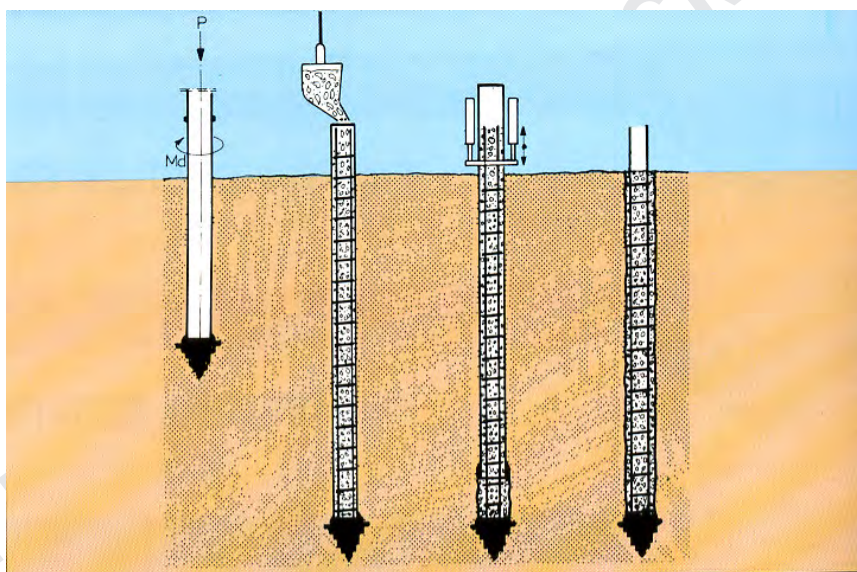
Вдавливание свай осуществляется тяжелыми установками весом 120 т. Её движение вдоль здания способно спровоцировать его осадки.

Резюме: в 10-метровой зоне примыкания к соседним зданиям технологию вдавливания свай следует применять с великой осторожностью, изготавливать не более 2–4 свай в смену. Это позволит обеспечить некоторую релаксацию напряжений в грунте вокруг свай.

Технологии изготовления *буровых свай без выбуривания грунта* очень похожи на вдавливание по воздействию на грунт. Точно также происходит вытеснение грунта практически с теми же последствиями. Тело сваи формируется вдавливанием и (или) вкручиванием гладкой трубы (с резьбовым теряемым наконечником) в грунт. Внутри трубы вставляется арматурный каркас, скважина заполняется бетоном, а труба извлекается.

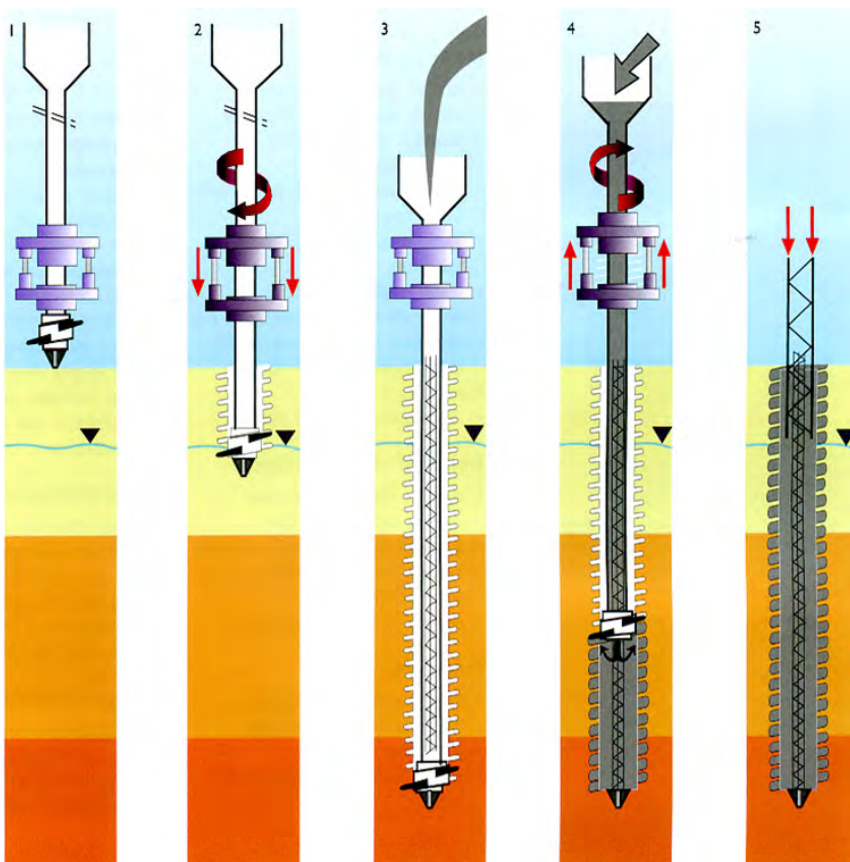
Когда по технологии «Fundex» соседний тяжелый пятиэтажный дом подняли на 40 мм, в это никто не мог поверить ни в России, ни за рубежом. Между тем, никакого чуда в этом не было. Подрядчики погрузили 153 сваи всего за 19 дней, при этом двигались фронтом работ на здание, нагоняя на него волну выпора.

Соседнее здание в последующие 3 года село на 10 см, а новое получило существенную неравномерную осадку, совершенно нетипичную для здания на свайных фундаментах. Причина неравномерной осадки кроется в эффекте выпора свай. Заметьте: буровую сваю невозможно догрузить после выпора. Кроме того, живой неподдельный интерес вызывает вопрос: а что же происходит с сырой, еще не схватившейся сваей, когда ее выпирает вверх на несколько сантиметров. Поэтому рачительный хозяин должен заказать геотехнику специальный контроль за ведением работ.



Устройство свай по технологии «Fundex»: последовательно – вкручивание пуансона в виде трубы с теряемым башмаком, размещение каркаса и бетонирование, извлечение пуансона.

Контроль должен начинаться с экспертизы ППР, а точнее с карты движения свайной установки. Ее придется гонять по всей площадке, чтобы дать грунту вокруг сваи релаксировать (успокоиться). Кроме того, геотехнику надо контролировать отметки голов свай – не полезли ли они вверх. Каждую поднявшуюся сваю нужно протестировать на сплошность (не «порвалась» ли она).



Устройство свай по технологии «Atlas»: 2 – вкручивание пуансона с возможностью создания вертикального усилия;
 3 – размещение внутреннего арматурного каркаса внутри пуансона;
 4 – бетонирование по мере вывинчивания пуансона;
 5 – погружение наружного арматурного каркаса.

Надо следить, чтобы в смену изготавливалось не более 2-4 свай в 10-метровой зоне примыкания к соседней застройке, а изготовление «новой» сваи рядом с готовой осуществлялось не ранее 3-х суток (чтобы готовая свая успела набрать хоть какую-то прочность).

**Производительность современных
геотехнологий – 10 свай в сутки.
Безопасная интенсивность работ –
2–4 сваи в сутки в зоне примыкания
к соседней застройке.**

Строгое следование таким рекомендациям геотехника позволит сделать технологию относительно щадящей для соседних зданий.

Но – увы – пропадет ее «скорострельность», которой так хвастался подрядчик, обещая Вам изготавливать по 10-12 свай в сутки.

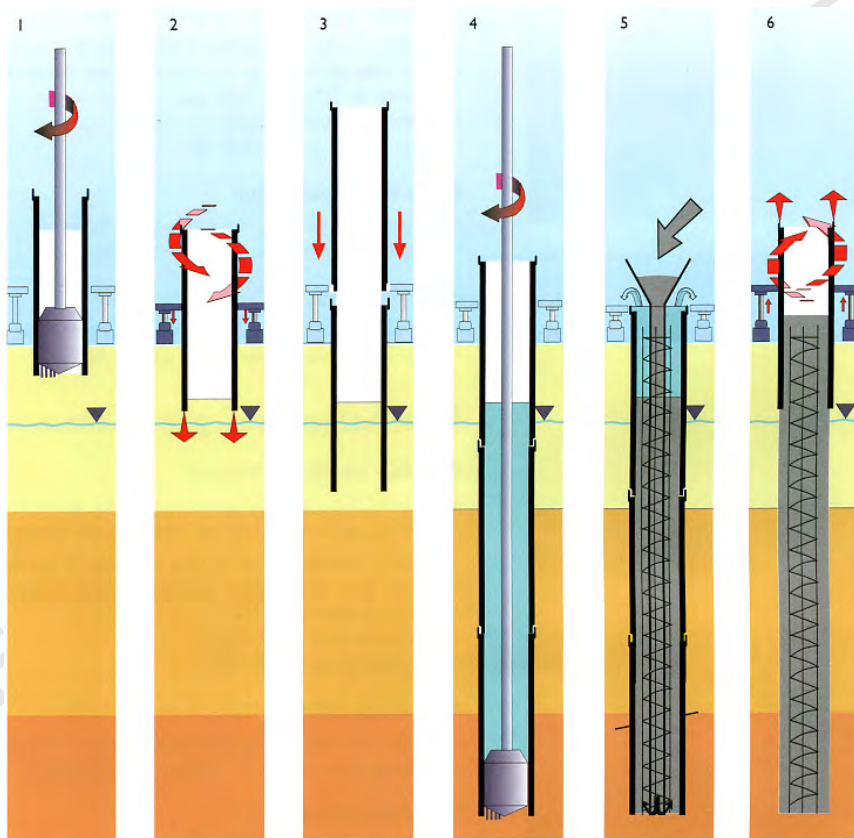
В итоге технологиям вдавливания и изготовления буровых свай с вытеснением грунта следует поставить «удовлетворительно» (в смысле «три балла»). Они эффективны, когда опасны и безопасны, когда неэффективны.

Наверное, не стоит останавливаться на экзотических технологиях типа разрядно-импульсной (РИТА). Разряды, конечно могут провибрировать бетонную смесь, уплотнить пески, но не наш кисель. Слабый разряд бесполезен, а сильный – опасен. Технология не адаптирована к инженерно-геологическим условиям Петербурга. Сами подрядчики знают об этом и используют электроразряд скорее как рекламный ход. На деле на нескольких площадках мы наблюдали, что разрядник даже не подключался к электричеству.

Кстати, очень полезно научиться отличать рекламные приемы от истинных особенностей технологий. Часто подрядчик утверждает, что сваи по его технологии несут больше. Когда начинаешь выяснять, больше чем что – оказывается: больше, чем он думал.

Одна фирма пропагандировала свои сваи с уширением и хвасталась их высокой несущей способностью. Позже выяснилось, что такую же несущую способность имеют и сваи без уширения.

Отличниками в нашей таблице являются две технологии. Они предусматривают **устройство скважины с извлечением грунта**. Тем самым эффект вдавливания устраняется. Но появляется другой вопрос: как удерживать стенки скважины? В одной технологии устойчивость стенок скважины обеспечивается специальным **бentonитовым раствором**.



Устройство свай под защитой обсадной трубы:

1,2 – погружение первого звена обсадной трубы; 3 – присоединение следующего звена обсадной трубы; 4 – проходка грунта до проектной отметки (для предотвращения перебора грунта проходка осуществляется с сохранением «грунтовой пробки» и/или под защитой столба воды); 5 – установка армокаркаса и бетонирование с помощью вертикально перемещающейся трубы; 6 – извлечение обсадной трубы.

Бентонит – это особая глина, которая способна очень быстро образовывать кисель (гель) даже при небольшой концентрации в воде. Он чуть тяжелее воды, но не отдает воду в грунт и способен на некоторое время (несколько часов и даже суток) удерживать стенки скважины в слабых грунтах.

Другая технология предусматривает погружение **обсадной трубы** для крепления стенок скважины. Обсадная труба аккуратно погружается вдавливанием со знакопеременным вращением. Из трубы извлекается грунт. При этом по компьютеру следят, чтобы внизу трубы всегда оставалась грунтовая пробка, а сама труба была «по горлышко» заполнена водой. Эти технологии не самые скоростные: удастся сделать не более 2-3 свай в сутки. Но при тщательном соблюдении всех технологических режимов они дают наилучший результат по обеспечению безопасности соседних зданий.

Есть еще одно правило, касающееся, в том числе, буровых свай: главными врагами современных геотехнологий являются доморощенные рационализаторы. Только у нас самую, казалось бы, безопасную технологию изготовления свай под защитой обсадной трубы – рационализировали настолько, что она на ряде объектов стала причиной разрушения соседних зданий. Всего-то отказались от заполнения труб водой (чего грязь разводить!) и пошел неконтролируемый перебор грунта.

Казалось бы, что может быть опасного в изготовлении свай под защитой обсадных труб почти «в чистом поле», когда до соседних зданий больше 15 м? Что уж проще – погружать обсадную трубу с некоторым опережением по отношению к выработке грунта из нее. За смену получится одна качественная и вполне безопасная свая. Но так нашему человеку не интересно. Платят ведь за количество свай. Ускорить работу можно, если нарушить технологию и выбуривать грунт ниже обсадной трубы. Тогда обсадная труба сама упадет в скважину, и удастся сделать две или даже три сваи в смену. Только окружающие здания при этом по-

лучают осадки. Как же надо было нарушить технологию, чтобы дома на расстоянии 15 м сели на несколько сантиметров?!

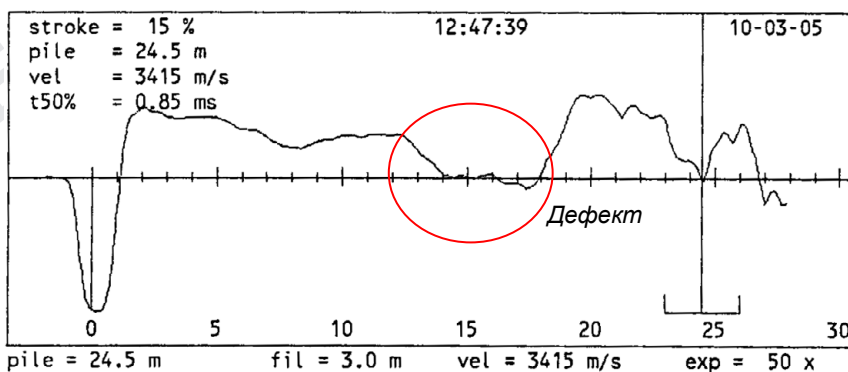
«Рационализацией» технологии изготовления свай под защитой бентонитового раствора является его подмена так называемым «буровым». Технологией предусмотрена сопутствующая работа целого бентонитового завода: раствор должен постоянно очищаться от грунтового шлама.

**Надежный способ проверить
качество буровых свай –
тестирование на сплошность.**

Наши рационализаторы экономят на бентоните, заполняя скважину водой. Она там бултыхается при бурении, и получившаяся грязь гордо именуется «буровым раствором». От этого он отнюдь не приобретает свойств бентонита, и свая может получиться бракованной, опасной для работы под нагрузкой.

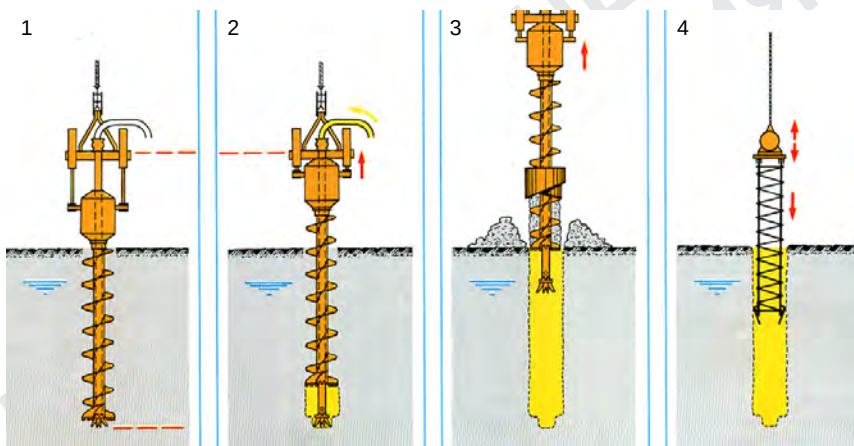
Поистине, нет такой западной геотехнологии, которую были бы не способны испортить наши «умельцы».

pile number : 4.7



Тестирование свай на сплошность.

Неоднажды авторам этой книжки приходилось наблюдать такое «know-how»: народные умельцы штукатурят головы свай перед сдачей заказчику свайного поля. А что же там, ниже? Может ли заказчик проконтролировать качество? К счастью, есть способ разоблачить бракодела. Вот уже более 10 лет мы занимаемся тестированием готовых свай. Применяемая нами методика давно стала обязательной в транспортном строительстве. Принцип проверки очень прост: по голове сваи ударяют молотком, звуковая волна бежит по свае и отражается от нижнего конца или дефекта (шейки, разрыва, трещины).



Устройство свай по технологии «проходного шнека»:

- 1 – погружение шнека вращением на проектную глубину;
- 2 – освобождение отверстия для нагнетания бетонной смеси;
- 3 – бетонирование скважины по мере подъема шнека;
- 4 – вибропогружение арматурного каркаса.

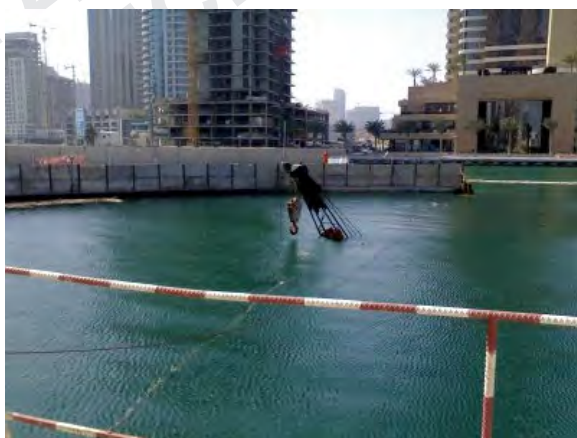
Из всех способов устройства буровых свай чемпионом по разрушению соседних зданий является так называемая **СФА-технология**, известная в России как «**проходной шнек**». На ее счету два полностью разрушенных в 1998 г. здания-памятника архитектуры у Московского вокзала, а также не до конца разру-

шенный в 2007 г. дом Мурузи. В 1998 г. нам удалось спасти от этой технологии дом Перцова (Лиговский пр., 44). Мы доказали западным подрядчикам ее опасность (правда, поверили они нам лишь тогда, когда разрушили и снесли дома №26 и №30 по Лиговскому проспекту). Опасность технологии состоит в неконтролируемом избыточном извлечении грунта при вкручивании шнека. В слабый грунт шнек ввинчивается легко. Но для вхождения в подстилающий плотный грунт нужно приложить вдавливающее усилие. Технологией это не предусмотрено. Попробуйте пальцами закрутить шуруп в стену! В результате шнек вертится на месте, подавая слабый грунт на поверхность, подобно мясорубке, и образуя воронку оседания. Исследования технологии CFA были нами широко опубликованы. Обидно, что спустя 9 лет невежественные проектировщики наступили на те же грабли. Похоже, в России хождение по граблям – национальный вид спорта. Об этом мы поговорим с Вами, уважаемый читатель, чуть позже, в Пятой части этой книги.

О безопасности технологии нельзя судить по ее описанию или положительному опыту работы в Москве, Лондоне или Париже, где грунтовые условия существенно лучше питерских. Казалось бы, чем может быть опасна технология «**Double Rotary**» (двойного вращения), которая предусматривает извлечение грунта шнеком под защитой обсадной трубы, ввинчиваемой в противоположном направлении. Шнек не может выносить грунт, как в технологии CFA, поскольку закрыт трубой. Однако на практике технологические осадки соседнего здания достигали 3 см. Оказалось, что шнек заедает в обсадной трубе. Для очистки его вытаскивают. При этом он как поршень насоса засасывает слабый грунт в обсадную трубу. Этот пример еще раз доказывает, что без апробации и адаптации к местным грунтовым условиям ни одна геотехнология не может считаться заведомо безопасной.

Глава 15 – еще немного о геотехнологиях, но для подземного строительства

Мы уже говорили в предыдущей главе о том, какой вред могут нанести непроверенные технологии устройства свай окружающей городской застройке. Но он меркнет перед разрушительными возможностями бездумного подземного строительства. Встройка могла изрядно повредить здание так, что из него пришлось бы выселять жителей. При ошибках в подземном строительстве и выбежать-то никто не успеет, рухнет соседний дом в один момент!



*Авария котлована
Инфинити Тауэр,
Дубай (2007).*

Подземное строительство связано с гораздо большим количеством факторов риска, чем обычная застройка. Для того, чтобы суммарный риск сделать приемлемым, надо поработать с каждым фактором в отдельности. И если не удастся довести его до нуля, то надо хоть постараться снизить до минимума.

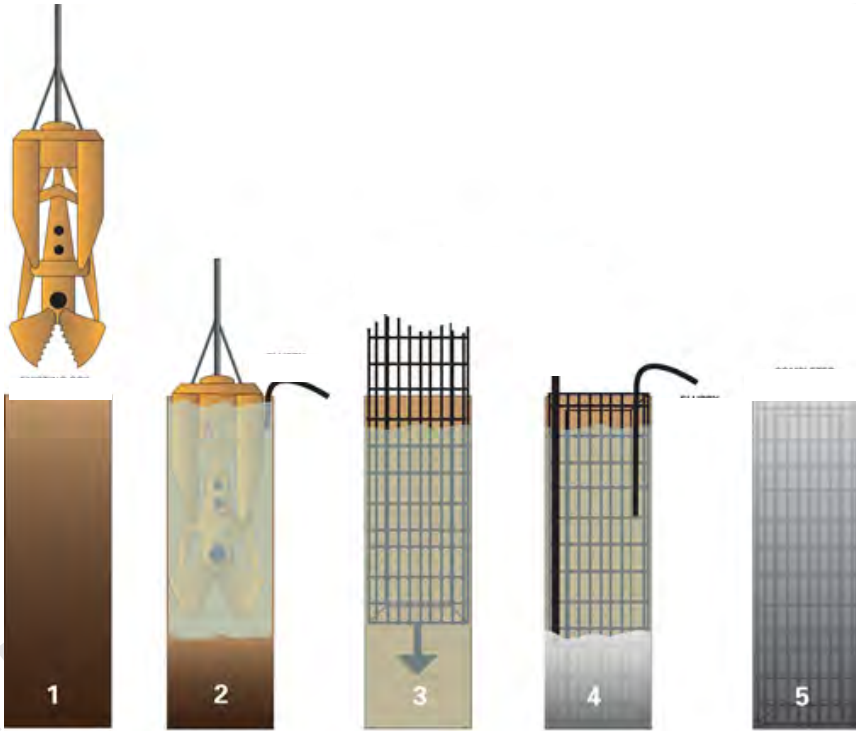


Примеры аварий котлованов в разных городах мира.

О том, как правильно спроектировать подземный объем, мы уже с Вами говорили в главе 5. Остановимся теперь на технологиях подземного строительства.

Есть две геотехнологии, перевернувшие мир. Это «стена в грунте» и «jet grouting». Они открыли возможность устройства подземного пространства там, где это казалось несбыточным еще в середине XX века.

«Стена в грунте» и «jet grouting» – две геотехнологии, которые открывают перспективы подземного строительства в условиях слабых грунтов.



Последовательность устройства стены в грунте на одной захватке.

«Стена в грунте» – это монолитная железобетонная стена, устраиваемая в очень глубокой траншее. Траншея откапывается специальным грейфером под защитой бентонитового раствора. Свежий раствор все время пополняет траншею, по верху которой устроен железобетонный воротник – формашта. Когда достигают проектной отметки, грейфером тщательно зачищают дно. В тран-

шею погружают арматурный каркас и бетонируют с помощью вертикально перемещаемой трубы. Так формируется одна захватка (или панель) стены в грунте. Ее толщина может быть от 40 см до полутора метров, а длина в плане зависит от соседства с окружающими домами. Чем ближе сосед, тем короче захватка. Между собой захватки отделяются стопэндами с ватерстопами (если эти англицизмы перевести на русский, они будут звучать еще хуже).

Глубина стены в грунте зависит от грунтовых условий, габаритов подземного пространства и определяется расчетом (в совокупности с мероприятиями по ее раскреплению от горизонтальных смещений).

Мы имели удовольствие наблюдать за работой фирмы «Franki» на Damrak – главной улице Амстердама. Под улицей устраивалась станция метро. Сам тоннель проходилась щитом, то есть закрытым способом (как у нас), а станция строилась так называемым открытым способом, то есть с поверхности земли.

Для устройства 3-этажного подземного пространства, включающего станцию метро и торговые этажи, по его контуру выполнялась стена в грунте толщиной 1,2 м на глубину 48 м. Грейферы работали всего в 3-х метрах от исторических зданий, за которыми велся строгий геодезический мониторинг. Откопку подземного пространства проводили по технологии top-down (вверх-вниз), под защитой дисков перекрытий (правда, стройка шла только вниз, идти вверх надобности не было).

Если бы такая стройка шла в российском городе, перекрыли бы, наверное, полгорода. А в Амстердаме закрывали только половину проезжей части. По второй половине шел транспорт. Строительная площадка была такой узкой, что место для бентонитового завода (где осуществляется приготовление и регенерация раствора, очистка от грунтового шлама) нашлось лишь в полукилометре. Аккуратные трубы с бентонитом шли по набережной мимо конной статуи Королевы Кристины. Наверное, надо вырасти в очень маленькой стране, чтобы научиться так тонко работать. Не по-нашему это! Нам бы закрыть какой-нибудь проспект на годы,

чтобы никто не мешал его асфальтировать (пусть до горизонта не видать ни одного рабочего – зато размах какой!).

**Стена в грунте –
чемпион по жесткости.**

Технология «стена в грунте» обладает неоспоримыми преимуществами перед многими другими технологиями устройства ограждения глубоких котлованов.

Она – чемпион по жесткости. Самый навороченный импортный шпунт едва ли будет эквивалентен стене толщиной всего в полметра. А жесткость очень важна: чем ограждение гибче, тем больше осадки соседних зданий.

Стену в грунте можно сделать чрезвычайно жесткой благодаря контрфорсам, которые изготавливают по той же технологии.

Как мы уже сообщали Уважаемому Читателю, жесткость стены толщиной 1 м с контрфорсом 3 м равна жесткости плоской стены толщиной 2,5 м! Это уже кое-что для решения задач подземного строительства в сложных грунтовых условиях Петербурга.

Другим очень важным достоинством этой технологии является ее безопасность для соседних зданий.

Прежде, чем сделать этот вывод, мы совместно с фирмами «Геоизол» и «Franki» провели обширные натурные исследования этой технологии. Первая успешная попытка была сделана на Комендантской площади. Там предстояло выкопать котлован диаметром 75 м на глубину 18 м! Таких подземных сооружений в условиях городской застройки еще никто в Петербурге не строил. Но наших учителей из «Franki» напугало поведение питерских слабых грунтов: они никогда раньше не встречались с такими тяжелыми, но текучими грунтами.

Поэтому в технологию было внесено изменение: к бентониту был добавлен цемент, чтобы повысить плотность раствора до

1,5 т/м³ (вместо 1,05-1,15 т/м³ у чистого бентонитового раствора). Стенки проходки в тяжелых грунтах проще удержать тяжелым раствором. Но – вот беда, этот раствор труднее вытеснить бетонной смесью, плотность которой равна 2,2 т/м³. Поэтому было решено в траншею, изготовленную по технологии «стена в грунте» погружать металлический шпунт. Получившуюся в результате конструкцию мы прозвали «шпунт в сметане». Внутри круглого котлована была сделана всего лишь одна небольшая захватка классической монолитной стены в грунте. Хотелось посмотреть, как она получается в наших грунтовых условиях. (А это уже элементы научного подхода к реальной практике подземного строительства.) При откопке котлована мы смогли убедиться, что надежды есть.

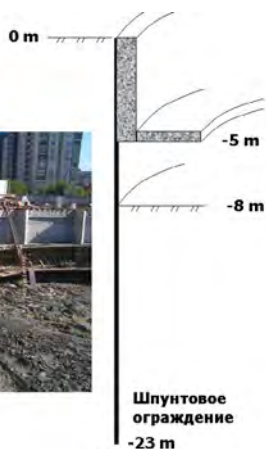


Первая попытка выполнить стену в грунте по современной технологии («Franki», «Геозол», Комендантская пл.).

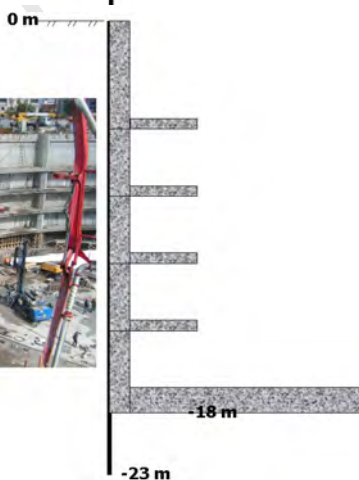
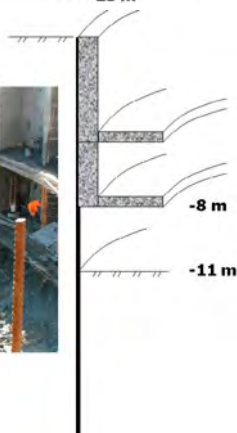
Вторым этапом отладки технологии стали фрагменты ramпы Орловского тоннеля на левом берегу Невы. Этот район назывался «Пески». Здесь действительно до глубины 20 м залегают песчаные отложения, что так нетипично для Петербурга. Зато это очень типично для других городов, где технология «стена в грунте» хорошо себя зарекомендовала. Поэтому было очень важным, чтобы отечественные подрядчики «набили руку» именно в такой стандартной геотехнической ситуации. Фирма «Геоизол» совместно со специалистами из «Franki» успешно выполнила стену в грунте, обеспечив герметичность котлованов. Расчет и проектирование столь ответственного сооружения осуществлялись Институтом «Геореконструкция».



Фрагмент ramпы Орловского тоннеля – первый подземный объект в Санкт-Петербурге, успешно выполненный с использованием современной технологии «стена в грунте».



Устройство первого в Санкт-Петербурге (2007 г.) подземного сооружения: его диаметр 75 м, глубина 18 м (работы вели компании «Franki» и «Геоизол», расчеты – «Геореконструкция»). Цилиндр – идеальная форма для подземного сооружения. Нужную жесткость обеспечивает система ребер.



Итак, мы теперь знали, что технология «стена в грунте» освоена петербургскими геотехниками. Но оба успешных примера были реализованы «в чистом поле». Будет ли обеспечена устойчивость проходки под легким бентонитовым раствором, если по одну ее сторону окажется тяжелый соседний дом? Этого не знал никто. Необходимы были дополнительные исследования (а это опять наука).

Некоторые наши коллеги – в том числе чисто вузовские ученые почему-то начинают нервничать, когда речь заходит о научных исследованиях. Проректор одного солидного вуза кричал на высоких собраниях: «Хватит исследовать! Если бы мы исследовали грунты, мы бы до сих пор ничего не построили!». Ему, представителю высокой науки, виднее. Но мировая практика свидетельствует об обратном. Нам, реальным практикам, без исследования грунтов проектировать никак невозможно. Мы смогли убедить в этом опытного застройщика – компанию «Возрождение Петербурга». Во дворе расселенного здания, которое подлежало сносу (на Зоологическом пер.) всего в полтора метра от фасадной стены была выполнена опытная площадка, огражденная стеной в грунте 30-метровой глубины плоского и таврового сечения. Эксперимент оказался блестящим. Несмотря на все мыслимые препятствия (работы велись впритык к дому, на глубине 20 м встретились валуны, их пришлось дробить долотом и доставать на поверхность), осадка дома за весь период ведения работ составила всего 16 мм. Откопка котлована на 10 м показала, что стена в грунте получилась высокого качества и при плоском сечении, и – что особенно важно – при тавровом.



Зоологический пер. Первый опыт устройства стены в грунте в близком примыкании к существующим зданиям (эксперимент проводился на зданиях, подлежащих разборке).





Здесь, на Зоологическом пер., впервые в Санкт-Петербурге стена в грунте была успешно выполнена сложной (тавровой) формы. Это открывает возможности освоения подземного пространства Санкт-Петербурга (работы вела компания «Геоизол», проектирование, расчеты и мониторинг – «Геореконструкция»).

Теперь, научившись на подопытных мышках и кроликах, можно переходить к настоящим операциям рядом с реальными зданиями. Мы не перестаем удивляться, как некоторые проектировщики без тени сомнения принимают в высшей степени сомнительные решения по устройству подземной части. И при этом как черт от ладана бегут от самой мысли проверить свои безумные идеи на опытном участке. «Зачем? – говорят они. – Проверять, так сразу на жилых домах!» К сожалению, это не шутка. Со временем эти адреса и фамилии «героев» станут общеизвестными.

Мы же никогда не были склонны экспериментировать на жителях. Мы предпочитаем проводить тщательные натурные эксперименты на опытных площадках прежде, чем подходить к жилому дому с новой технологией, пусть даже самой престижной и самой зарубежной.

Наши исследования широко опубликованы и доступны всем, кто интересуется геотехникой. С 1998 года мы издаем научно-технический журнал под названием «Развитие городов и геотехническое строительство». Наши исследования помогут избежать ошибок. Расчетчикам они откроют глаза на реальное поведение грунта, проектировщикам помогут найти верные решения, подрядчикам продемонстрируют, что такое апробация геотехнологии в условиях Санкт-Петербурга и как ее адаптировать к особенностям питерских грунтов.

Не следует забывать, что высокие технологии требуют высокого интеллекта. Необходимо тщательно соблюдать всю стандартную процедуру, технологические режимы. В противном случае можно скомпрометировать даже самую прогрессивную и надежную технологию. Не скроем, так случилось однажды и с технологией «стена в грунте», которая, казалось бы, прошла успешные испытания в нашем городе.

Одного подрядчика поначалу как-то не сильно беспокоило, что при изготовлении стены в грунте, от захватки к захватке, постепенно нарастал перерасход бетона, под конец более чем вдвое (похоже, перерасход бетона оплачивал заказчик). Но при устройстве очередной захватки вдруг обнаружилось, что докопать до проектной глубины (24 м) никак не получается. Копнул подрядчик грейфером с глубины 9 м, опорожнил грунт в отвал, снова погрузил – а грейфер ниже 9 м не опускается! Снова копнул, снова опустил – опять 9 м! И так трудился подрядчик до ночи, потом махнул рукой на эдакие чудеса и стал лить бетон в захватку 9-метровой глубины. Льет и льет он бетон, а захватка все не наполняется. Насилов заполнил подрядчик ненасытную захватку бетоном. А на третий день пришел копать соседнюю. Докопал под-

рядчик до глубины 9 м – и дальше никак: ниже бетон от соседней захватки. И так далее – в стиле Хармса. Стал подрядчик думать, в чем тут дело – и придумал: «Виноваты, – говорит, – во всем подземные реки с кисельными берегами, в которых проходка под бентонитом не держится». У нас в Питере всегда так – ежели где чего завалится или затрещит – во всем виноваты эти самые подземные реки.

Если все же перейти от сказки к быти, то окажется, что надобно соблюдать технологию, поддерживать нужный уровень бентонита, тщательно очищать его от включений грунта и выполнять тому подобные скучные правила...

И все же альтернативы стене в грунте сегодня нет, если Вы хотите построить подземный объем близко к существующим зданиям. Шпунт и стенка из буровых свай имеют несравнимо меньшую жесткость. К тому же стенка из свай течет, как решето. Все стыки надо инъецировать, что полностью съедает ту призрачную экономию, которой эта стенка, казалось бы, выгодно отличалась от «стены в грунте». К тому же при изготовлении стенки из буровых свай сколько-нибудь значимого сечения (600 мм и более) не избежать осадок соседних зданий. Они связаны все с тем же неконтролируемым перебором грунта, о котором мы говорили в прошлой главе. Перебор, как мы знаем, напрямую зависит от степени расструктурирования грунта. Чем чаще сваи – тем этот эффект больше. Он проявляется с особой силой, когда делается ряд текущих свай.

Если свая сырая, то бурением можно повредить ее тело, а если схватилась – то не избежать динамических воздействий, превращающих слабый грунт в кисель, который с легкостью и в избытке извлекается на поверхность. Так были разрушены три дома рядом с гостиницей «Невский палас», дом № 6 на Мичуринской ул., дома № 26 и 30 на Лиговском пр., пострадал дом № 26 по Литейному пр. (дом Мурузи) и пр.

Для относительно неглубоких котлованов (6-8 м), вполне эффективным может оказаться шпунтовое ограждение. Сегодня в

арсенале отечественных подрядчиков появилась замечательная технология вдавливания шпунта, которая со временем, несомненно, вытеснит технологии вибропогружения.

При вдавливании шпунт, как нож в масло, входит в грунт. Эффект вытеснения и перемятия грунта (о котором мы говорили применительно к вдавливаемым сваям, как о негативном явлении) для шпунта минимален.

Для любых ограждений котлованов актуальной задачей является обеспечение их неподвижности. Особенно это важно вблизи соседних зданий. Напомним закономерность: *насколько сместится внутрь котлована ограждение, настолько же сядет соседнее здание, если оно расположено у самого котлована.* Борьба со смещениями, наращивая только мощь ограждения котлована, невозможно. Даже могучей стене в грунте с контрфорсами трудно устоять в питерских грунтах, если ее не раскреплять горизонтальными распорками. Анкера в черте городской застройки не применить: залезешь на чужую территорию, а то и под соседнее здание. Получается абсурд: чтобы спасти соседние здания, мы цепляемся анкером за грунт под ним же. Поистине, как у барона Мюнхгаузена: сам себя – за волосы – из болота – с лошадью вместе.

Так что выбор невелик: или надо делать временные металлические распорки, или же отливать железобетонные диски плит, которые потом пригодятся в качестве перекрытий (метод *top-down*). В Китае из железобетона делают и временные распорки. Грунт приходится извлекать между этими распорками или же через отверстия в железобетонных перекрытиях.

Откопали до следующего уровня – ставим новый ряд распорок или делаем новые перекрытия. И так – до отметки днища. Ставить распорки и перекрытия приходится через 3-4 м. Реже нельзя, иначе ограждение получит большие смещения. Занятие это, прямо скажем, не из приятных, особенно в слабых грунтах Петербурга.



Временные железобетонные распорные конструкции при строительстве подземного сооружения в Шанхае.

Работать приходится в стесненных условиях: мало того, что под распорками или перекрытиями не применить нормальную технику, так еще и сваи-стойки мешаются, на которых вся распорная система держится. О первом в Петербурге примере реализации технологии top-down мы расскажем Вам в главе 22. Но без особой надобности прибегать к этому методу мы не посоветовали бы даже заклятому оппоненту. Извлекать слабый глинистый грунт не просто даже из открытого котлована. Он липнет к рабочим агрегатам, в нем тонет техника. На Комендантской площади (где благодаря круглой форме котлована удалось отделаться от метода top-down и разработать котлован открыто) экскаватор, чтоб не затонуть, вынужден был ездить по гати из металлических труб диаметром 800 мм. Покопал-покопал, трубы переложил – можно копать дальше.

Работать в наших грунтах под перекрытием – это почти героизм. Слабые грунты норовят поглотить даже малогабаритную технику.

Мы уже упомянули, что лучший способ избежать откопки по технологии top-down – делать круглый котлован. Кольцо держит

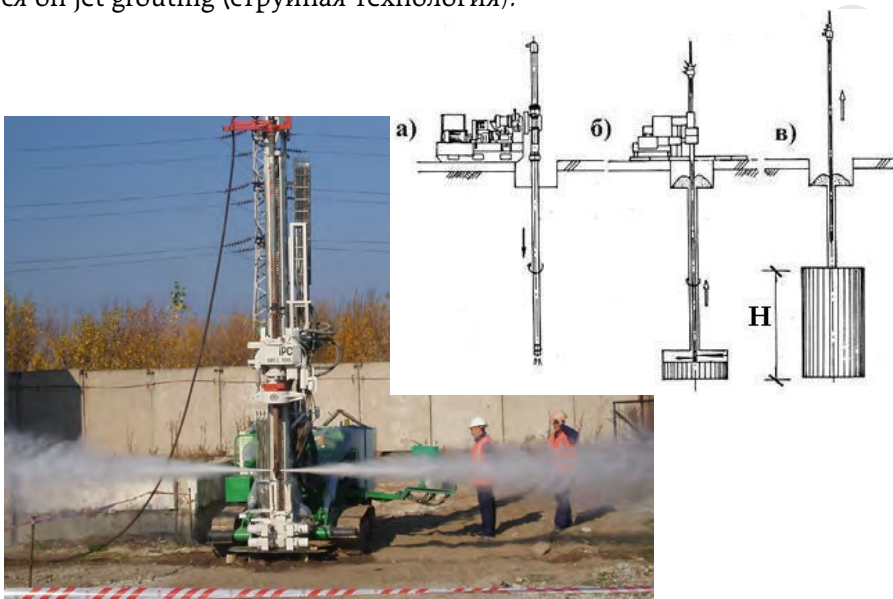
себя само. Тут не нужны распорки. Нужны разве что ребра-обручи в уровнях перекрытий. Но такая форма для котлована – редкость. Чаще всего котлован делают той формы, какую имеет участок. Но и в этом случае человеколюбивый проектировщик может исхитриться и не загонять человека под землю раньше срока. Нами, например, разработана геотехническая концепция откопки больших по площади котлованов (100 м на 50 м и более), в которой сведен к разумному минимуму объем работ, выполняемых в стесненных условиях. О ней любознательный читатель может узнать из главы 18, в которой рассказывается о проекте Мариинки-2.

Насколько сместится ограждение котлована, настолько же сдвинется соседнее здание.

Суть ее проста: по контуру котлована выполняется два ряда ограждения. Внутренний ряд отстоит метров на 10–15 от наружного. Между рядами устраивают распорные крепления и откапывают грунт на глубину 3–4 м. Там снова устанавливают распорки и копают еще на 3–4 м. Так повторяют, пока не доберутся до проектной отметки дна котлована (допустим, до глубины 12 м). На этой отметке устраивают монолитную плиту днища, а после этого – коробчатую железобетонную конструкцию.

В плане она образует замкнутую раму (жесткий контур), которая способна выдержать боковое давление грунта. Если участок вытянут, длинные стороны рамы разбивают поперечными перемычками. Внутри жесткого контура заключен основной объем грунта, который можно разрабатывать привычным открытым способом. Оба ряда ограждения в данной концепции могут быть выполнены из шпунта (пожалуй, только здесь он может составить реальную конкуренцию стене в грунте).

Петербургские грунты обладают одним коварным свойством. Ограждение котлована в них норovit сместиться по максимуму непременно ниже текущего уровня откопки. Как остановить смещение там, куда мы еще не докопались? Как поставить распорку до откопки котлована? Оказывается, есть такой способ. Называется он *jet grouting* (струйная технология).



Технология jet grouting (струйная технология): на фото – испытание струйной установки; на схеме: бурение скважины (а); превращение грунта в пульпу, которая замещается цементным раствором и вытесняется на поверхность (б, в).

В скважину опускают вращающийся монитор, через сопла которого в грунт под очень высоким давлением (300 атмосфер) подают струю цементного раствора – вот откуда название технологии. Острой струей можно резать металл, не то что грунт. Струя превращает грунт в пульпу, которая вытесняется на поверхность. А в основании остается цилиндр цементогрунта. Из этих цилиндров, выполненных вплотную, можно создать массив, который, конечно же, нельзя считать бетоном. Но он на два по-

рядка прочнее, чем исходный грунт. Хорошо изготовленный по технологии jet grouting массив цементогрунта вполне справляется с ролью распорки, которая возникает в грунте еще до откопки котлована.

Ограждение котлована в питерских грунтах получает наибольшее смещение ниже уровня откопки. Остановить смещение там можно с помощью струйной технологии.

Прежде, чем рекомендовать эту технологию к применению в грунтовых условиях Петербурга, мы провели ее апробацию при реконструкции дома на набережной реки Карповки. Трехэтажный дом планировалось надстроить на 2 этажа и поэтому требовалось увеличить несущую способность фундаментов. Мы предложили устроить под подошвой фундаментов массив закрепленного грунта по струйной технологии. Работы были проведены весьма успешно: здание не претерпело сколько-нибудь заметных деформаций в процессе усиления, а после надстройки его осадки составили всего 10 мм.

Но главное, отобрав керны, мы убедились, что прочность закрепленного грунта вполне удовлетворяет проектным требованиям.

Для нужд подземного строительства технология jet grouting была впервые применена в Петербурге на площадке Второй сцены Мариинского театра. По нашему проекту двухметровый слой грунта ниже днища в пределах «жесткого контура» следовало закрепить по струйной технологии, что исключало возможность подвижки ограждения котлована ниже уровня откопки и тем самым обеспечивало безопасность соседних зданий и коммуникаций.

По технологии jet grouting можно создать противофильтрационные экраны не только горизонтальные – под днищем котлована, но и вертикальные. Надо только всегда помнить, что грунтоцемент, изготовленный по струйной технологии – это не бетон. Он в сто раз лучше грунта, но в сто раз хуже бетона. Грунтоцемент не образует монолитного массива, он состоит из плотно смыкающихся цилиндрических столбиков. Нормы по железобетону к нему неприменимы.

Так что струйная технология, конечно, хороша, но не требуйте от нее невозможного.

Все технологии подземного строительства имеют свои границы эффективного применения. Геотехник определяет, где проходят эти границы с помощью трех вещей: современных расчетов, апробирования и адаптации технологии на опытной площадке и геотехнического мониторинга.

Глава 16 – о геотехническом мониторинге

Понятие «Геотехнический мониторинг» было введено в употребление на русском языке профессором Улицким еще в 80-х годах прошлого века. Мониторинг был прописан нами в петербургских нормах по фундаментам (ТСН 50-302-2004) как обязательный элемент сопровождения строительства в условиях города.



*Мониторинг
не нужен?*

Что же такое – геотехнический мониторинг: ненужные дополнительные затраты или вещь, полезная инвестору?

Мониторинг проводится, прежде всего, для обеспечения сохранности окружающей застройки. За её «здоровьем» надо постоянно следить. Почему? Потому что любая стройка в черте города – это операция на его теле. Чем сложнее строительство (чем ближе оно к соседним зданиям, чем глубже оно залезает под землю, чем выше идет вверх), тем оно опаснее. Такие стройки – как операции на сердце города. Они немыслимы без постоянного слежения за состоянием здоровья соседних домов.

Часто приходится сталкиваться с тем, что мониторинг подменяют простыми наблюдениями. Дескать – это нечто вроде измерения температуры больного. Вот она нормальная – все в порядке. Вот она повысилась – заболел, что ли?

Такое понимание мониторинга есть дискредитация самой идеи. Зачем Вам нужна служба мониторинга, которая только и может, что сообщать: «Ой, пошли осадки. Ой, опять пошли осадки». А через некоторое время: «Ой – рухнуло!»

Следить за здоровьем больного должен врач, а не нянечка или даже старшая медсестра. Только врач может объяснить, отчего поднялась температура, насколько это опасно и как надо лечить больного. Помимо температуры, кстати, есть масса других, не менее важных, параметров.

Для слежения за здоровьем зданий нужны и геодезисты, измеряющие осадки и крены, и прибористы, измеряющие вибрации, раскрытие трещин, усилия в конструкциях. Но, главное, нужен геотехник, способный проанализировать данные измерений, сравнить их с прогнозом, сделанным в Геотехническом обосновании. И – в итоге – сделать вывод: всё ли идет по плану или нужны срочные изменения технологий и проектных решений.

Иными словами, служба мониторинга может работать эффективно только в том случае, если за её спиной стоит мощная геотехническая проектная организация. Мониторинг, оторванный от геотехники, малоэффективен, а порой просто опасен.

Часто приходится сталкиваться с такой ситуацией. Допустимые для соседних зданий осадки (2-3 см) исчерпываются уже на этапе устройства свай или ограждения котлована, когда еще не приступали ни к откопке котлована, ни к постройке здания. А служба мониторинга молчит. Ей, оторванной от геотехников, было невдомек, что нужно приберечь эти драгоценные 2... 3 см для других, более существенных воздействий, осадки от которых практически невозможно свести к нулю.

**Мониторинг –
инструмент управления рисками.**

Ведь невозможно сделать здание невесомым, а ограждение котлована – абсолютно неподвижным. А вот влияние геотехноло-

гий на соседние здания очень даже можно ограничить. Можно не допустить применения опасных геотехнологий на площадке. Конечно, это – обязанность проектировщика, но и геотехник, ведущий мониторинг, не должен закрывать на это глаза. Нужно следить за соблюдением щадящих режимов производства работ. Слежение за геотехнологиями – одна из важнейших составляющих мониторинга.

Без анализа результатов измерений, без сравнения с геотехническими прогнозами, без слежения за геотехнологиями, и, наконец, без постановки диагноза и назначения лечения – без всего перечисленного мониторинг может выродиться в еще один вид административного побора.

Когда мы «прописывали» геотехнический мониторинг в нормах, мы полагали, что мониторинг должен стать инструментом по управлению рисками. А снижение рисков для соседней застройки – это и в интересах инвестора, и в интересах города.

**Мониторинг – не просто измерения.
Это их расчетный анализ
и обратная связь с проектом.**

Мониторинг позволяет не только своевременно остановить опасные процессы на строительной площадке. Он позволяет также оградить застройщика от несправедливых претензий владельцев соседних зданий, которых обычно Ваше строительство совсем не радует. Благодаря мониторингу у Вас в руках всегда имеются объективные данные о состоянии соседних зданий, а не домыслы недоброжелателей. Кстати говоря, мониторинг должен начинаться с обследования всех помещений соседних зданий и фиксации дефектов. Это не только требование норм, но и насущная необходимость. В противном случае все, что произошло с соседним домом за 200 лет его жизни, станет только Вашей проблемой. А это может дорого стоить.

Часть четвертая

погружение в городской андеграунд

НЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 17 – и в этой части единственная – о пользе развития подземного пространства

Андеграунд в искусстве – это что-то пугающее своей новизной. Андеграунд в прямом (а значит, геотехническом) смысле слова – это подземное пространство. Для древних городов в нем зарыта их история. А для такого молодого города, как Петербург, в нем таится его будущее. И вот почему.

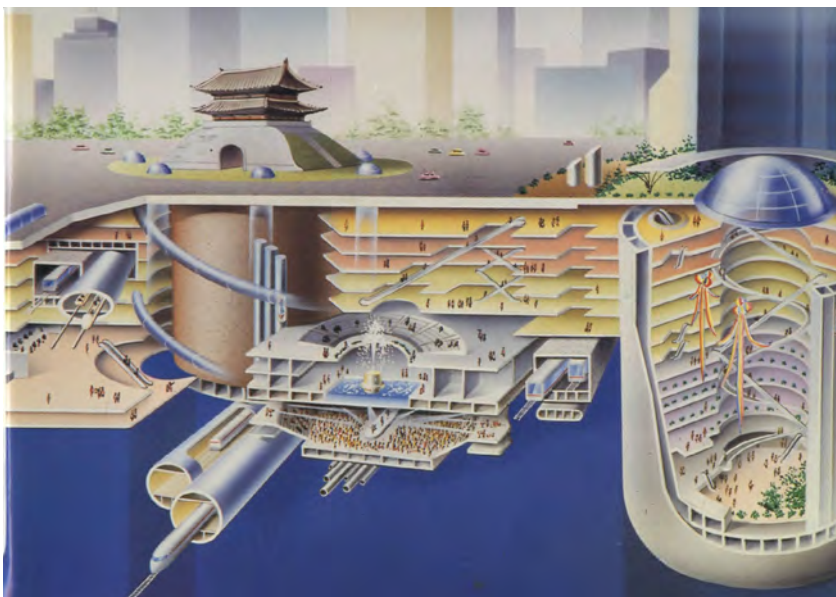
Любое уважающее себя государство проявляет заботу о сохранении исторического наследия – отдельных памятников культуры и архитектурных ансамблей. Под патронажем ЮНЕСКО находится множество исторических мест во всех частях света, почти в каждой стране. Сохранению и реставрации памятников уделяет большое внимание и наше государство. Несколько охраняемых международным сообществом мест расположены в России. Среди них – Санкт-Петербург в границах столицы Российской империи. Можно и нужно гордиться тем, что облик города периода высочайшего взлета русской культуры дошел до нас первозданным, почти без искажений. Вместе с тем возникают и чрезвычайно сложные задачи, связанные с необходимостью обеспечения сохранности исторического центра. Дело состоит в том, что исторический Санкт-Петербург – это город, который до 1917 г. населяли 1,5 миллионов жителей. Для сравнения напомним, что в Венеции, с которой часто сравнивают северную столицу, в период ее расцвета проживали всего 300 тысяч человек. Очевидно, что превратить в музей под открытым небом полуторамиллионный город – задача совершенно невыполнимая и, более того, вредная. Даже в небольшой Венеции музеефикация всего города оказалась очень сложным процессом – город-музей покидают жители и печать упадка зримо лежит на венецианских зданиях.

**Освоение подземного пространства
позволяет сохранить исторический
город и сделать его удобным
для жизни.**

Как известно, покинутый дом быстро приходит в запустение, то же может произойти и с городом, ставшим неудобным для жизни. Поэтому в целях сохранения исторического центра Петербурга весьма актуальной становится задача привнесения в него функций современного города, без искажения при этом его архитектурного облика. В этой задаче заключены две очевидные противоположности, что делает ее решение, казалось бы, невозможным. Здесь на помощь может прийти геотехника. Все новое, без чего сегодня немыслима жизнь современного мегаполиса, должно прятаться в подземном пространстве. Под землю уйдут транспортные коммуникации, развязки, обеспечивая удобное передвижение по городу. Появятся подземные паркинги, освобождающие улицы от припаркованных автомобилей, как тромбы закупоривающих артерии города. В подземных объемах разместятся необходимые городу новые функциональные зоны, инфраструктура. Так андеграунд становится футуристическим проектом.

Именно этот путь развития выбирают многие исторические города – такие как Париж, Мадрид, Лиссабон. В двухмиллионном Мадриде к настоящему времени сооружено более 50 транспортных автомобильных тоннелей, под площадью Сол в самом сердце исторического города устроен подземный вокзал пригородных поездов, удобно соединенный с системой станций метрополитена.

Можно сколь угодно долго обсуждать архитектурные достоинства и недостатки знаменитой стеклянной пирамиды Пея в Лувре, но даже противники признают, что просторное подземное пространство только обогатило историческое здание величайшего музея мира.



Подземное пространство мегаполиса в Японии (к настоящему времени транспортные сооружения этого футуристического проекта уже построены, реализуется общественно-деловая часть).



Подземный вестибюль Лувра в Париже, увенчанный стеклянной пирамидой.

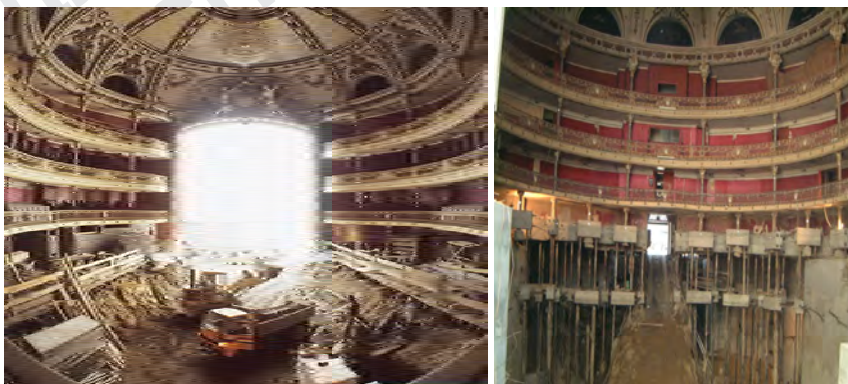
Освоению подземного пространства придают исключительно важное значение даже в небольших исторических городах Франции. В одном из них двухуровневая парковка была устроена прямо под дном реки, ничуть не изменив привычный облик набережных. При этом была решена одна из самых насущных проблем города – исторические улицы освободились от автомобилей, к удовольствию их владельцев, получивших удобные места для стоянки.



Soletanche-Bachy: устройство двухэтажного паркинга ниже дна реки в историческом городе Франции; слева направо: устройство гидроизоляции перекрытия паркинга (вода реки временно пущена через трубу); укладка защитных плит – искусственного дна реки; строительство завершено, о нем напоминают только въездные порталы паркинга.

Сегодня, в эпоху глобального развития туризма, наибольший интерес обращен к городам, сохранившим свою историческую застройку – таким как Прага, Брюгге, Венеция. Не секрет, что их погруженность в ушедшую эпоху во многом объясняется весьма

прозаической причиной: в какой-то период своей истории (скажем, лет на сто) эти города обеднели. Ста лет вполне достаточно, чтобы жители начали ценить застройку прошлого века как историческую реликвию. Сознание, что она достойна сохранения, начинает превалировать над желанием вносить бесконечные изменения и все перестраивать. То же произошло и с Петербургом: сегодня оказалось, что сохранения достойны не только отдельные памятники барокко или классицизма, но и те, что еще недавно пренебрежительно именовались постройками в стиле *эkleктики* (превратившейся ныне в стиль *историзм*). Более того, выяснилось, что необходимо сохранять и так называемую фоновую застройку. Как же сохранить такое множество старинных зданий, если они уже более ста лет не соответствуют современным представлениям об удобстве и комфорте? Разумеется, храмы надо отдать верующим, дворцы превратить в музеи и культурные центры. Впору превращать в музеи и старинные театры, которые совершенно не отвечают прогрессивным театральным технологиям. Именно поэтому в Европе реализуются сложнейшие проекты реконструкции знаменитых театров: устроено развитое подземное пространство под миланской оперой Ла Скала, под театром Сирко в Лиссабоне, под Большим театром в Москве.



А. Пинто: устройство малой сцены под зрительным залом театра *Circo* в Лиссабоне.

Но что же делать с рядовой исторической застройкой, формирующей *строгий стройный вид* Петербурга? До последнего времени этот вопрос решался так же, как и во всей Европе: надо сохранять здания, имеющие ценные интерьеры, надо сохранять все исторические фасады, а может быть, и лицевые строения, формирующие вид улиц, а внутренние пристройки, в которых размещались каретники, конюшни, жилье прислуги и дешевые «доходные» комнаты и квартиры – демонтировать, освобождая место для устройства подземных объемов и современных построек. По такой схеме недавно была завершена реконструкция нескольких торговых зданий XV в. на набережной реки Лее в самом центре фламандской столицы – Гента. Были бережно сохранены и отреставрированы исторические фасады, разобраны ветхие конструкции зданий целого квартала, на месте которого было выполнено многоуровневое подземное пространство и возведена комфортабельная гостиница и рестораны. Город сохранил историческое лицо и обрел новую современную функцию привлекательного туристского центра.



Реконструкция исторических зданий в Генте (Бельгия): за сохраненными фасадами устроено многоуровневое подземное пространство и комфортабельная гостиница с ресторанами.

В Санкт-Петербурге под руководством авторов этой книги были разработаны проекты реконструкции целого ряда зданий, среди которых можно назвать дом №23 на Малой Морской ул., №54 на Большой Морской ул., №19 на Владимирском пр. Эти здания, сохранившие в первозданном виде свои исторические фасады, стали удобными для современных жителей города.

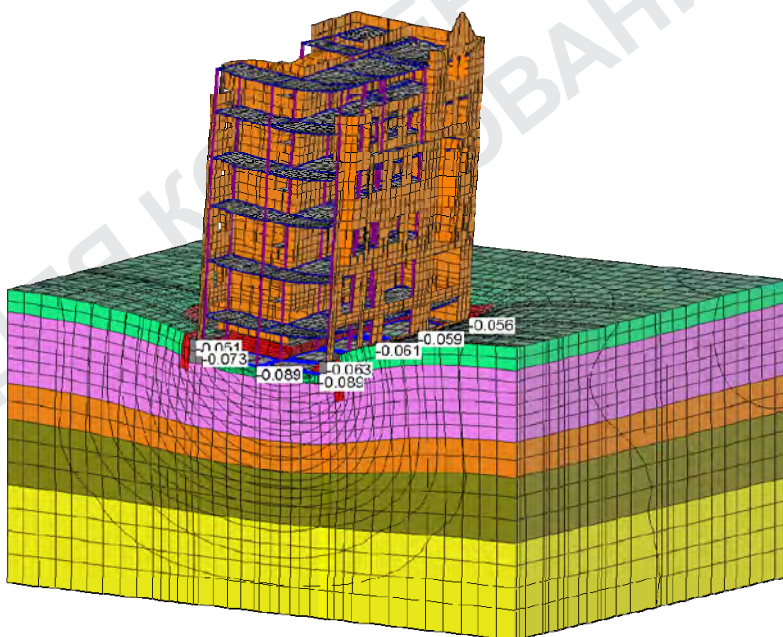
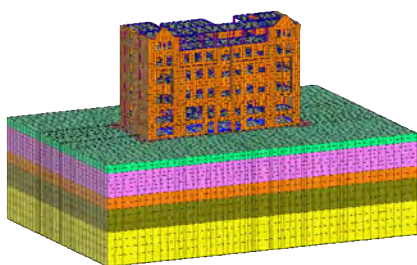
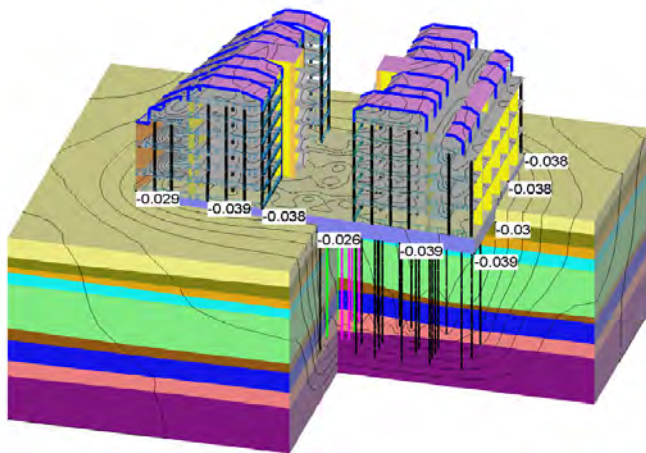


Схема расчета дома №19 по Владимирскому пр. во взаимодействии с его основанием (сохранены представляющие архитектурную ценность наружные стены здания и лестничная клетка, аварийноопасные конструкции заменены надежным железобетонным каркасом на естественном основании, к которому «привязаны» наружные стены); подписаны расчетные значения осадок, м.



Расчет дома №54 по Большой Морской ул. во взаимодействии с основанием (сохранены подлинные фасадные стены, они пересажены на сваи, новые конструкции возведены на свайных фундаментах); подписаны расчетные значения осадок, м.

В последнее время в Петербурге стала проявляться тенденция, доводящая до крайности благородное желание сохранить исторический облик Санкт-Петербурга. Ее суть проста: «не дадим ничего ломать, не дадим ничего перестраивать». В ее основе – недоверие к участникам строительства, не способным обеспечить сохранность исторической застройки. Надо сказать, что в компроектации идеи реконструкции городской застройки виноваты, прежде всего непрофессионалы. Еще не стерлись из памяти аварии старинных зданий, которые претерпели разрушительные деформации при строительстве гостиницы «Невский Палас» на Невском пр. и дома на Мичуринской ул.. И вот уже новейшая история дает нам примеры осадок жилых зданий величиной около 100 мм (!), примыкающих к торговому дому «Стокманн» на Невском пр. и к площадке строительства Второй сцены Мариинского театра (подробнее с этими проблемами можно познакомиться в Пятой части «Гида»). Надо сказать, что последние примеры иногда преподносятся чуть ли не как успех подземного строительства. С этим трудно согласиться: нельзя назвать удачным результа-

том пятикратное превышение осадки окружающих зданий над допустимым значением.

Итак, может быть, правы те, кто ратует за полное запрещение строительства и реконструкции в историческом центре города? Однако, нельзя забывать, что в результате победы такого мировоззрения город с неизбежностью ждет запустение. Нельзя превратить в музей огромный город в границах конца XIX в. Следовательно, нет альтернативы развитию подземного пространства города, реконструкции кварталов морально устаревшей застройки. Только делать это следует на высоком профессиональном уровне – и архитектурном, и геотехническом.



Примеры разрушения исторической застройки при устройстве подземных объемов для гостиницы «Невский Палас» на Невском пр. и жилого дома на Мичуринской ул.

Достойный пример для подражания – подземное многоуровневое пространство вокруг старинного здания в Лиссабоне, концепция которого была разработана известным португальским геотех-

ником А.Пинто. Здание было оставлено на целике грунта, обрамленном стеной в грунте, который был стянут по контуру преднапряженными тросами. Вокруг него было устроено многоуровневое подземное сооружение. Конечно же, весьма благоприятные инженерно-геологические условия площадки (песчаники и известняки в основании исторического здания) способствовали успешному решению этой сложнейшей геотехнической задачи. В Санкт-Петербурге скальные породы находятся на глубине более 200 м и поэтому они не имеют практического значения для строительства.



*А.Пинто: строительство подземного объема
вокруг исторического здания в Португалии.*

Как помнит Уважаемый Читатель, Петербург был основан на *топких мшистых берегах* на мощной толще четвертичных отложений малой и средней степени литификации, попросту именуемых слабыми грунтами. Несущим слоем для исторической застройки служат приповерхностные озерно-морские пески. Они работают своеобразной естественной песчаной подушкой для зданий, высота которых ограничивалась уровнем карниза Зимне-

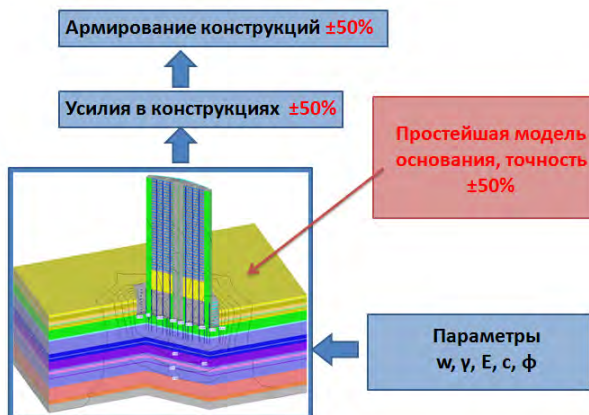
го дворца (24 м). Помимо этического значения (неприлично строить дом выше царских палат) это правило имело и геотехническое последствие: оно ограничивало давление от здания на основание. В результате приповерхностные пески хорошо справлялись с ролью подушки, перераспределяющей давление на слабые подстилающие слои основания – озерно-ледниковые текучие суглинки.



На страницах этой книжки мы уже упоминали, что эти грунты обладают специфическими свойствами, незнание которых может привести к печальным последствиям при любом строительстве в центре города, а в особенности, при подземном строительстве. Они являются структурно-неустойчивыми грунтами. Техногенные воздействия, сопровождающие строительную деятельность, провоцируют нарушение структурных связей в этих грунтах, в результате чего они теряют свойства твердого тела и приобретают качества жидкообразной среды. Надо сказать, что это весьма тяжелая жидкость, ее плотность равна примерно 2 т/м^3 , т.е. она вдвое тяжелее воды. Эффект нарушения структурных связей выражается, прежде всего в увеличении подвижности грунтовой среды: ее вязкость падает до минимального значения, а следовательно, скорость развития деформаций сдвига резко возрастает. Это явление было изучено нами на целой серии опытных полигонов, где устраивались глубокие котлованы. Если в грунте природного сложения боковое давление грунта равно примерно половине от вертикального, то при нарушении структурных связей оно возрастает вдвое, достигая равенства с вертикальным давлением, как и полагается жидкообразной среде.

К сожалению, имеющиеся сейчас в распоряжении проектировщиков расчетные программы не позволяют адекватно учитывать особенности работы слабых глинистых грунтов как струк-

турно неустойчивых сред, для которых характерен вязкопластический тип деформирования.



Мы не советуем геотехнику подходить к конструктору с такой точностью расчета осадок.

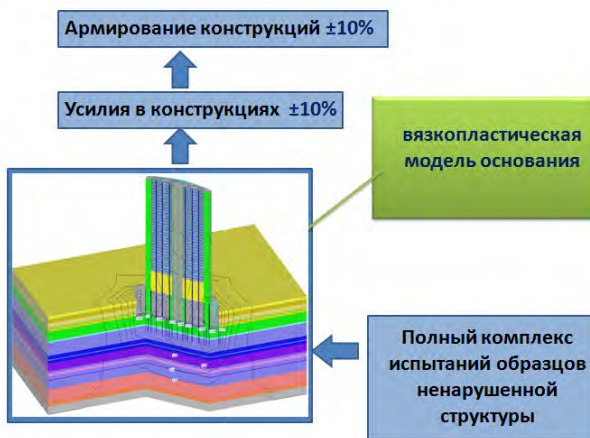
Большинство моделей работы грунта, реализованных в популярных программных комплексах либо вообще не рассматривают развитие деформаций оснований во времени, либо в их основу заложены предпосылки, не соответствующие реальному поведению слабых глинистых грунтов. Более того, даже без учета фактора времени применимость этих программ оказывается под большим вопросом. Сложности возникают даже при попытке смоделировать с помощью расчетной программы простейшие лабораторные эксперименты: компрессионное сжатие образца в одометре по открытой схеме (в условиях возможности свободного отжатия воды из образца) и трехосное испытание в стабилометре по неконсолидированно-недренированной (т.е. закрытой) схеме. При этом выясняется, для слабых грунтов существующие модели не всегда в состоянии корректно описать оба стандартных испытания грунта с одним и тем же набором параметров. Как же можно доверять программе при расчетах объектов со сложной геометрией нагружения, если они врут даже при моделировании простейших испытаний?

Как говорится, не от хорошей жизни петербургским геотехникам пришлось заняться разработкой специальных моделей работы грунта. На основании двадцатилетних исследований в составе «Библиотеки моделей» программы *FEM models* разработана **вязкопластическая модель** грунта, реализующая особенности поведения слабых питерских грунтов при нагружении и разгрузке.

Значение вязкопластической модели для расчетов подземных сооружений можно пояснить следующим образом. При устройстве глубоких котлованов происходит разгрузка основания. Деформации массива грунта в этом случае никак не связаны с уплотнением (поскольку нет сжимающих давлений). В популярных программах развитие деформаций во времени либо не рассматривается вовсе, либо связывается исключительно с уплотнением – с отжатием воды под действием сжимающих напряжений. Как же проектировщику рассчитать с помощью таких программ деформации массива грунта при откопке глубокого котлована, когда никакого уплотнения не возникает, но нужно учесть время, необходимое на установку распорных креплений? Задача самая обычная, но абсолютно недоступная для существующих программных продуктов. Дело в том, что в условиях откопки котлована не происходит отжатия воды из грунта, а во времени нарастают исключительно деформации изменения формы (если рассматривать любой кубик грунта внутри массива, то обнаружится, что он меняет форму, сдвигается, но его объем не изменяется). Эти деформации, полностью определяющие поведение массива грунта при устройстве глубоких котлованов, почему-то остались вне поля зрения разработчиков программ, хотя они играют важную роль даже при строительстве здания.

Существующие программы для прогноза развития деформаций во времени могут предложить лишь аппарат так называемой теории фильтрационной консолидации, который рассматривает именно процесс отжатия из грунта воды, что совершенно неактуально при проектировании котлованов. Конечно, можно найти

программы, учитывающие эффект ползучести (грунт ползет под нагрузкой, не меняя своего объема, как гусеница). Но в них модель построена причудливым образом: деформации сдвига вычисляются через деформации уплотнения, физическая обоснованность чего весьма сомнительна. (Если допустить существование такой связи, то окажется, что вода сможет течь только в зависимости от того, насколько мы ее сожжем.)



Вязкопластическая модель обеспечивает необходимую точность совместных расчетов здания и основания

Таким образом, появление в распоряжении геотехников вязкопластической модели работы грунта, реализованной в программном комплексе *FEM models*, открывает возможность проектировать глубокие котлованы с учетом их устройства во времени, а также прогнозировать их влияние на окружающую историческую застройку. Благодаря вязкопластической модели как инструменту надежного прогноза поведения массива грунта открывается перспектива научно обоснованного развития подземного пространства, исключающего опасность повреждения окружающей исторической застройки. Вязкопластическая модель была подвергнута нами самой строгой верификации на предмет соответствия ее результатов натурным исследованиям на серии опытных котлованов в Санкт-Петербурге, а также стандартным

лабораторным и полевым испытаниям грунтов (этой теме посвящен ряд публикаций в научных изданиях).

Однако нелишне повторить, что применение эффективной программы численного расчета отнюдь не освобождает расчетчика от проверки результатов с помощью традиционных инженерных методов. Не следует забывать, что традиционным методам уже более двух веков и человечеством накоплен значительный опыт их применения, а численные методы в повседневной проектной практике стали применяться всего лет десять назад. Как мы с Вами, Уважаемый Читатель, имели уже возможность убедиться во Второй части «Гида», при корректной постановке задачи при одной и той же теоретической основе результаты расчетов по инженерным и численным методам совпадают. Преимуществом численных методов является отнюдь не более выгодное проектное решение, а возможность рассмотрения сложной геометрии нагружения и различных этапов устройства подземного сооружения. Поэтому при проектировании следует всегда решать целую серию численных задач, с исследованием поведения массива грунта и окружающей застройки от различных техногенных факторов, проверяя каждую из них с помощью традиционных аналитических методов. Вязкопластическая модель является весьма удобным инструментом для этого.

Не будем забывать, что устройство подземных сооружений в условиях городской застройки на слабых грунтах относится к повышенному уровню риска. А, следовательно, по нашему убеждению, к конструированию ограждений глубоких котлованов надо подходить так же, как к устройству сооружений повышенного уровня ответственности, поскольку аварии котлованов могут привести к человеческим жертвам. Для таких сооружений требуется выполнять расчеты на противодействие так называемому прогрессирующему обрушению. Для случая глубокого котлована это означает не только рассмотрение выхода из строя элемента конструкции, но, главным образом, изучение возможных нештатных технологических ситуаций.

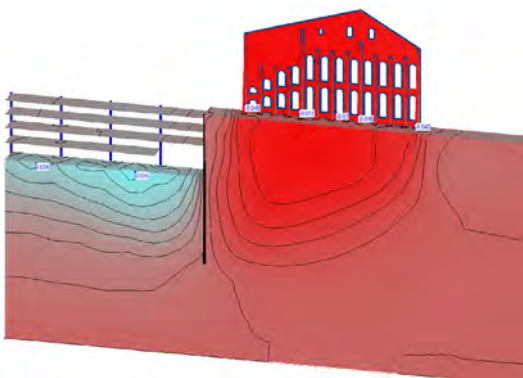
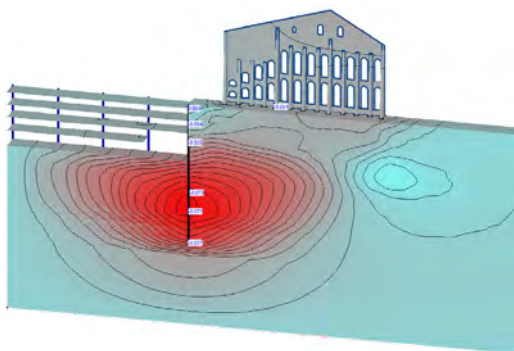
Неустойчивость структуры питерских слабых глинистых грунтов ставит нас перед выбором пути, по которому следует двигаться при проектировании подземного сооружения. Первый путь заключается в максимальной «эксплуатации» свойств грунтов ненарушенной структуры. В этом случае затраты на распорные и ограждающие конструкции оказываются минимальными. При этом высок риск утраты природной структуры грунта вследствие нарушения технологии, техногенных воздействий на площадке и вокруг нее. Могут быть нарушены и установленные проектом сроки производства работ. Все эти риски вполне реальны (особенно в российских условиях) и могут привести к негативным последствиям вплоть до разрушения соседней застройки.

Второй путь заключается в том, что изначально предполагается неизбежность нарушения природной структуры грунта либо возможность неопределенной задержки сроков производства работ по устройству котлована. В этом случае грунт работает как «тяжелая жидкость», и мероприятия, обеспечивающие допустимые деформации соседней застройки, оказываются за гранью экономической целесообразности. Очевидно, что и первый, и второй путь сами по себе ведут в тупик: первый не обеспечивает надежность соседней застройки, второй закрывает всякие перспективы подземного строительства. Возможен ли выход из этого тупика?

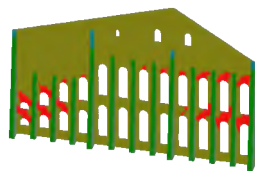
На наш взгляд, поиска третьего пути здесь не требуется, достаточно увязать между собой первый и второй путь решения проблемы. Очевидной причиной противоречия является то, что к «оптимистическим» расчетам (в предположении сохранения природной структуры грунта) и к «пессимистическим» оценкам (в предположении полного нарушения структуры) нельзя применять один и тот же критерий допустимых деформаций соседней застройки.

Мы предложили ввести следующее требование к проектированию глубоких котлованов: ***расчеты подземных сооружений в условиях городской застройки необходимо проводить по***

двум группам предельных состояний не только для самого проектируемого сооружения (что общепринято), но и для соседней застройки.



При расчете по второй группе выбирается конструкция ограждения котлована и система его крепления, обеспечивающая допустимые деформации соседней застройки. При расчете по первой группе определяются предельные осадки зданий, соответствующие предельным усилиям в их конструкциях. Параметры ограждения должны исключить угрозу обрушения соседней застройки.



Расчет по второй группе предельных состояний (по деформациям) должен выполняться, исходя из привычных требований по допустимым дополнительным деформациям соседних застройки от всей суммы воздействий, связанной со строительством объекта. На основании этого расчета выбирается конструкция ограждения котлована и система его крепления, обеспечивающая допустимые деформации соседней застройки при принятой последовательности и скорости производства работ с соблюдением штатных технологических режимов. В этом случае очень важно точно прогнозировать скорость развития деформаций основания во времени, что позволяет сделать вязкопластическая модель

грунта. Здесь возникает необходимость четкой увязки решений, полученных расчетчиком-геотехником с графиком подрядчика по предельно допустимым срокам производства каждого этапа работ, значимого для безопасности соседней застройки. Эти сроки должны быть согласованы еще на стадии формирования геотехнической концепции. Очевидно, что наиболее экономичное решение ограждающих и распорных конструкций можно получить, если обеспечить сохранность природной структуры грунта. Для реализации проектных решений, в основу которых положен принцип сохранения природной структуры грунта необходимо:

1 – ограничить техногенные воздействия в период устройства котлована (не допускать динамических воздействий как внутри котлована, так и вокруг него, исключить работы по устройству свай, погружению шпунта и т.п., ограничить движение транспорта вокруг котлована);

2 – не допускать нарушений последовательности ведения работ и щадящих технологических режимов;

3 – строго соблюдать проектные сроки каждого этапа работ по устройству котлована.

Очевидно, существуют высокие риски нарушения этих условий по объективным и субъективным причинам (задержка финансирования объекта, ошибки строителей и пр.). Проект, основанный исключительно на предположении о сохранности природной структуры грунта и не имеющий инструментов по противодействию аварийному сценарию развития событий, по нашему глубокому убеждению, не имеет права на существование. Здесь вполне уместна аналогия с общепринятым сегодня подходом по противодействию прогрессирующему обрушению: ошибка в производстве работ или задержка сроков их выполнения не должны приводить к катастрофическому разрушению соседней застройки. Для этого в практику геотехнических расчетов надо ввести понятие **расчета соседней застройки по первой группе предельных состояний**. Соседняя застройка должна быть рассчитана по прочности и устойчивости при воздействиях со

стороны строительства подземного сооружения, связанных с неопределенными задержками во времени строительства и нарушением природной структуры грунта. Другими словами, нарушение щадящих технологических режимов и сроков производства работ не должно приводить к разрушению соседней застройки.



В практике ведущих геотехнических фирм мира такой подход не нов, при интерактивном мониторинге за ведением работ на сложных объектах реализуется «принцип светофора». Зеленый свет – отсутствие проблем, желтый включается, если деформации превосходят допустимые значения, а красный загорается при превышении предельного уровня деформаций.

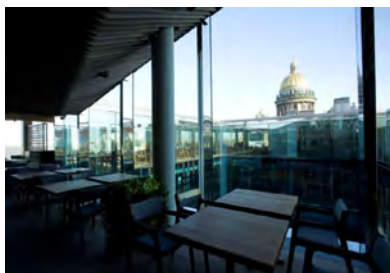
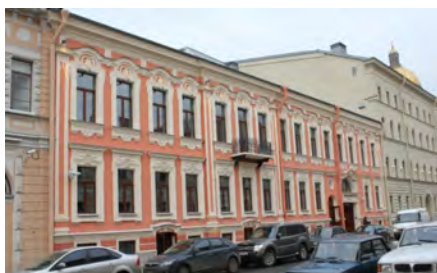
Лучшим свидетельством корректности работы вязкопластической модели и эффективности предложенной методологии проектирования подземных сооружений по двум группам предельных состояний **для** окружающей застройки служат спроектированные и построенные на основе расчетов с ее использованием объекты. Среди них – подземное пространство, выполненное непосредственно под памятником культурного наследия Каменноостровским театром, находящимся под охраной ЮНЕСКО (подробнее о нем написано в заключительной части нашей книжки), а также трехэтажный подземный паркинг, устроенный внутри квартала на Почтамтской ул.

Для будущего бизнес-центра требовалось создать подземный паркинг на 160 автомобилей и современный корпус на месте старых сараев, каретников и жилья дореволюционной прислуги, сохранив при этом нетронутыми лицевые строения. Опять-таки по модной сегодня «охранительной» идеологии следовало, вероятно, дожидаться, не найдутся ли желающие использовать по назначению эти ветхие дворовые постройки – держать там дрова, лошадей, жить в комнатухах для крепостных с высотой пололка 2,3 м. Можно было бы также подождать, когда эти строения рухнут сами собою, став *необратимо* аварийными (что одно только, по

мнению «охранителей старины» дает право на их разборку). Представляется, что такой «охранительный» подход таит в себе мину замедленного действия: сегодня он распугивает инвесторов, а завтра приведет к обветшанию города. К счастью, городские власти приняли разумное решение: все новое должно быть спрятано внутри объекта и оставаться невидимым с любой точки на поверхности земли.



Устройство подземного пространства офисного здания на Почтамтской ул. Последовательно: вибропогружение шпунта под строгим контролем службы мониторинга; устройство жесткого распорного диска из закрепленного грунта по технологии jet grouting ниже дна паркинг-сейфа; откопка котлована цокольного этажа после закрепления грунта под подошвой фундаментов окружающих зданий; откопка котлована паркинг-сейфа под защитой короткого шпунтового ограждения и диска закрепленного грунта.



Сохраненный корпус здания на Почтамтской ул.; панорамный ресторан, который не виден ни с одной точки на поверхности земли; первый подземный уровень; паркинг-сейф.

Геотехники приняли участие в разработке проекта одновременно с архитекторами, что принесло ощутимый результат. Совместное творчество выразилось в отказе от первоначальной идеи устроить двухуровневый подземный объем по всей площади освобожденного от ветхой застройки двора. Вместо этого был устроен наполовину заглубленный минус первый этаж (что позволило ограничить усиление примыкающей застройки простейшими мероприятиями по закреплению контактной зоны «фундамент-грунт»), в котором размещались 100 автомобилей, а посередине его на достаточном удалении от исторических строений – двухэтажный паркинг-сейф на 60 машин. Глубина котлована паркинг-сейфа составляла 8 м, а ограждение котлована было выполнено из короткого шпунта с распоркой понизу в виде слоя закрепленного грунта по технологии jet grouting (по струйной технологии). В результате подземный объем оказался вполне рентабельным и одновременно (что важнее всего!) совершенно безо-

пасным для соседней застройки. За весь период строительства осадки соседних зданий не превысили 1 см.

Приведенный пример свидетельствуют, во-первых о возможности безопасного для исторической застройки освоения подземного пространства исторического центра Санкт-Петербурга. Знание закономерностей поведения слабых грунтов при нагружении и разгрузке, в том числе изменения их реологических свойств при нарушении структурных связей позволяет проектировать подземные сооружения и выбирать технологию их устройства, исключаяющие риск повреждения соседней исторической застройки. Во-вторых, этот пример свидетельствуют о той пользе, которую может принести развитие подземного пространства историческому городу, если в основе расчетов и проектирования лежат корректные модели работы системы «подземное сооружение – массив грунта – исторические здания».

Для того, чтобы Уважаемый Читатель оставил всякие сомнения в необходимости освоения подземного пространства, попробуем развеять туман, которым часто пытаются окружить некоторые одиозные проекты подземного строительства. Для этого проведем работу над ошибками, допущенными на известных объектах в Санкт-Петербурге. Мы увидим, что осадки соседних зданий, превышающие 10 см, отнюдь не являются неизбежностью, их можно и должно не допускать. Для этого следует правильно прогнозировать поведение массива грунта и принимать на основе достоверных расчетов адекватные проектные решения.

Часть пятая

хождение по граблям (для любителей острых ощущений)

Появился такой вид спорта – хождение по граблям. Нельзя сказать, что это исключительно российское явление. Но на западе все так интересно устроено, что у наступившего разок на грабли в голове гудит до конца жизни. У нас же и тут имеется своя специфика: наступают на грабли одни, а по лбу получают совсем другие...

НЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 18. Страсти по Маринке-2

Французский журнал «Монитор» как-то сделал любопытный анализ бюджетных строек и открыл важный закон: увеличение стоимости строительства прямо пропорционально удлинению его сроков. Растягиванию сроков очень помогает: а) экономия на инженерно-геологических изысканиях (проектировщик сидит и ждет, когда же их переделают); б) неожиданное выяснение, что первоначальная концепция строительства никуда не годится и несколько лет были потрачены зря; в) внезапное открытие к моменту плановой сдачи объекта, что деньги кончились, а на площадке конь не валялся; г) что-нибудь еще. К тому же почему-то бюджетные объекты обладают одной забавной особенностью: на них чаще, чем на частных стройках, меняются проектировщики, подрядчики и даже заказчики. Каждый раз их смена предпринимается для успешного завершения строительства, стоимость которого в итоге оказывается вдвое-втрое выше первоначально отведенной суммы. Природа этого явления до сих пор остается неразгаданной тайной. Известно только, что с непреодолимой силой оно проявляется во всем, что связано с хлябями земными. К великому сожалению, освоение подземного пространства в особо крупных размерах не всегда помогает тому, чтоб хляби эти не разверзлись.

В этом контексте история строительства новой сцены Марининского театра выглядит настолько банальной и так широко публиковалась в прессе, что мы осветим только ее геотехническую сторону.

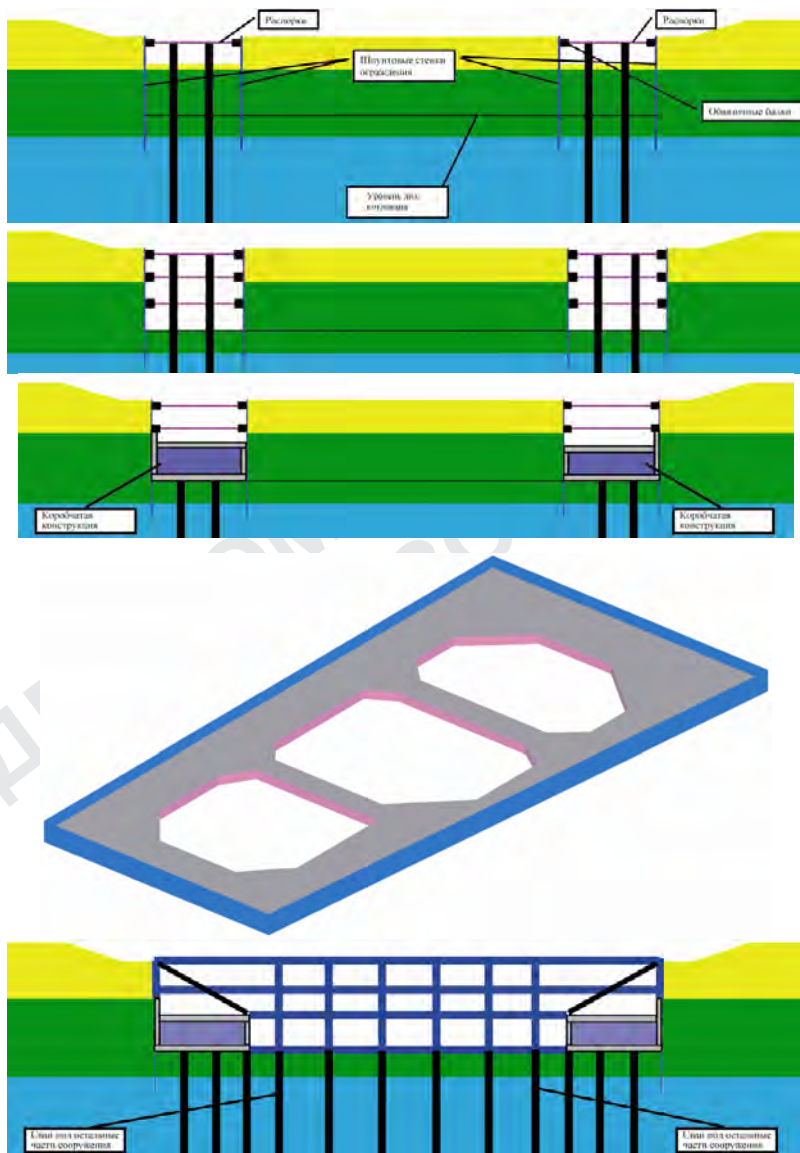
Представьте, что на дворе 2005 год. Надо спроектировать котлован 150 на 80 м в плане и 11 м глубиной. В нашем с Вами распоряжении, уважаемый читатель, нет еще технологии «стена в грунте». Она, конечно известна по западным и первым московским образцам, но в Петербурге отсутствует положительный опыт. Зарубежные специалисты, познакомившись с нашими грунтами, машут руками: «Стену в грунте у вас можно сделать,

если прежде перемешать весь грунт с цементом!». Об ограждении из буровых свай большого диаметра лучше не вспоминать: еще не зализаны раны у Невского Паласа, на Мичуринской ул. и «яме» у Московского вокзала. Как говорится, вот тебе шпунт – и ни в чем себе не отказывай! Иначе – никаких тебе положительных экспертиз, экспериментировать позволительно в стороне от знаковых для города бюджетных объектов.

А тут еще одно обременение: по проекту здание театра сверху донизу рассечено акустическими швами, отметки перекрытий над двумя подземными этажами скачут туда-сюда на полметра. Нет единого уровня и сплошного диска перекрытий, который можно было бы использовать для раскрепления шпунта от горизонтальных смещений. Зато есть слабые глинистые грунты, в которых еще никому не удавалось выполнить глубокий котлован без разрушения соседних зданий. А они – всего в 15 метрах от него.

В этой непростой геотехнической ситуации специалисты института «Геореконструкция» придумали хитрый способ устройства котлована: дешевый, простой и надежный. Идея проста: можем ли мы откопать глубокую траншею? Да, если сделать ограждение, скажем, из двух рядов шпунта и по мере откопки поставить распорки между ними. Расчеты показали, что при сохранении природной структуры слабых глинистых грунтов для траншеи глубиной 11,5 м достаточно трех уровней распорок. А можно ли с такими распорками сделать траншею шириной 12-15 м? Почему бы нет! Откапываем грунт на глубину 3-4 м. Устанавливаем ряд распорок. Копаем глубже на 3-4 м. Так повторяем, пока не доберемся до проектной отметки дна котлована (до глубины 11 м). В таком случае, не опоясать ли весь контур подземного сооружения траншеей, в шпунте и с распорками, а затем не сделать ли в ней этакую железобетонную рамку коробчатого сечения, которая способна выдержать давление внешнего грунта, когда будем копать внутри? Поскольку участок вытянут, длинные стороны рамки нужно разбить поперечными перемычками. Вот и вся

идея. Никакого тебе топ-дауна, да и никаких распорных дисков перекрытий не требуется, две трети работ можно вести в открытом котловане. Просто, дешево, безопасно и быстро.



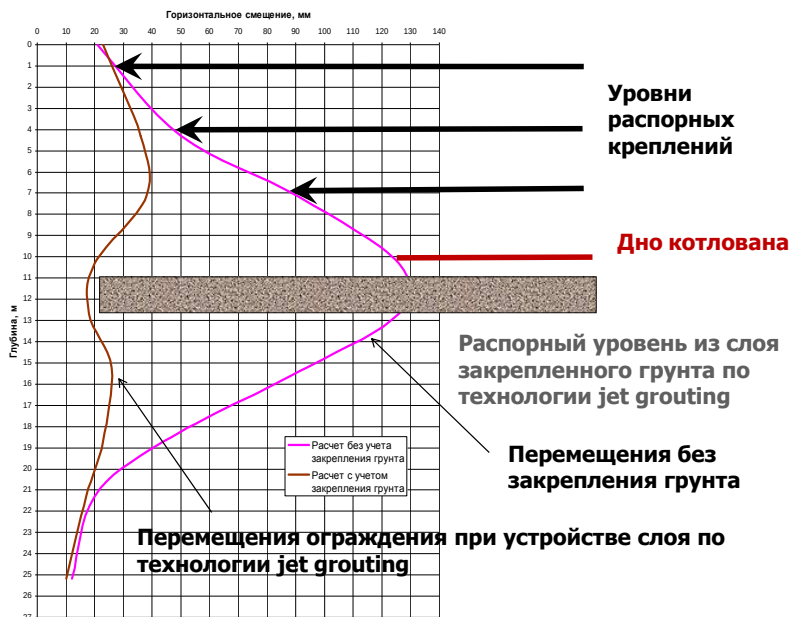
Последовательность откопки котлована при устройстве жесткой железобетонной рамы.

Первый глубокий котлован в среде исторической застройки Санкт-Петербурга требовал особого подхода, предписанного международными строительными нормами – интерактивного проектирования. Надо сказать, что такой подход продемонстрировал свою эффективность, когда на площадке возникли первые трудности. В ходе работ по устройству свайного поля (буронабивные сваи устраивались под защитой обсадной трубы) подрядчиком был допущен перебор грунта, в результате чего соседние здания получили осадки до 20... 30 мм. Проектировщики забились тревогой: куда это годится, что весь лимит допустимых деформаций соседней застройки израсходован на простейшей и, казалось бы, давно апробированной технологии! Этот лимит был так нужен нам на следующем этапе – при откопке котлована.

Перебор грунта привел к расструктуриванию слабых глинистых грунтов. Ненарушенный грунт лениво реагирует на откопку внутри шпунта. Есть время (хотя бы неделя) на установку очередного ряда распорок. А расструктурированный грунт сразу норовит поднажать на шпунт, сдвигая его внутрь котлована. Тут при откопке очередного яруса и установке распорок счет уже идет на часы. Опоздаешь – поедет на несколько сантиметров шпунт, а потом и соседние здания.

Учитывая эти обстоятельства, нами было предложено следующее компенсирующее мероприятие: установить распорку на глубине 12 м, где она нужней всего, не после, а *до откопки котлована!* Для осуществления этой, на первый взгляд, фантастической идеи, существует и успешно реализуется в России технология jet-grouting. Между рядами шпунта с поверхности земли последовательно пробуриваются скважины и с помощью струйного монитора ниже дна котлована устраивается слой закрепленного грунта толщиной 2 м. Образующаяся распорка весьма эффективна при небольшом расстоянии между ограждающими стенками. Благодаря ей резко снижается податливость стенок нашей траншеи, а прирост осадок соседних зданий от откопки котлована гарантированно уменьшается до 10... 16 мм. В совокупности с уже

накопленными осадками (20...30 мм) это дает возможность ограничиться при ремонте прилегающей застройки простейшими процедурами по инъецированию раскрывшихся трещин и не требует дорогостоящих мероприятий, связанных с усилением оснований и фундаментов соседних зданий.



Эффективность устройства слоя закрепленного грунта по технологии jet-grouting.

Это и есть основа принципа интерактивного проектирования – принимать решения с учетом изменяющейся геотехнической ситуации.

Изложенная геотехническая концепция была признана оптимальной отечественной и зарубежной экспертизами.

В этот кульминационный момент, как и полагается по закону жанра, геотехническая концепция получила отставку вместе с ее авторами. Чуть позже туда же была отправлена и сама архитектурная идея театра (в догонку за ее создателем, знаменитым французским архитектором Домиником Перро, победителем

первого в России за 70 лет международного архитектурного конкурса).

Альтернативным проектировщиком был реализован вариант устройства подземного пространства, в основу которого была положена технология *top-down*, совершенно противопоказанная для архитектуры Перро.

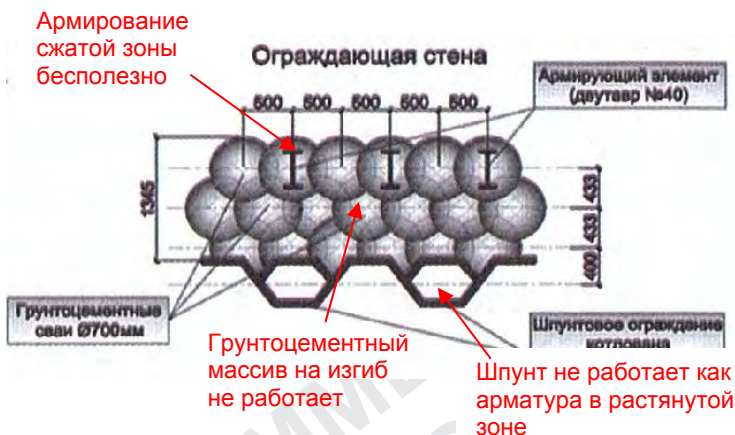


Слишком ли новаторским был для Петербурга проект Доминика Перро и насколько привычно выглядит индустриальная коробка канадцев – об этом пусть судят знатоки, ценители архитектуры и петербуржцы, равнодушные к тому, что происходит в городе.

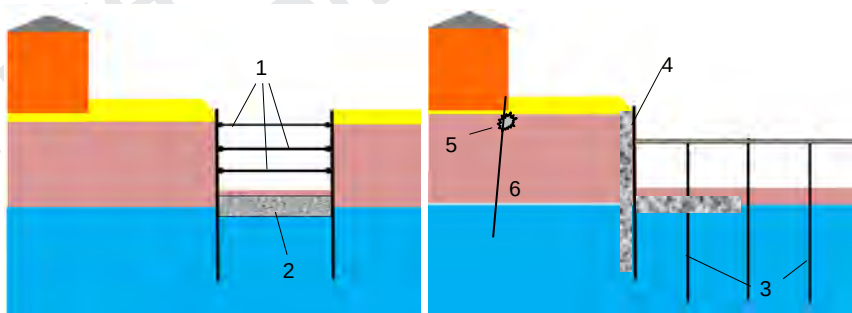
В котловане 12-метровой глубины был сделан всего лишь один (!) уровень распорных дисков (на глубине 4 м). Слой закрепленного грунта под днищем, изготовленный по контуру котлована, в новой схеме уже не мог работать. В самом деле, что это за распорка такая – по куску с одного конца и с другого конца, а посередине дырка. Удивительно, что к этому, совершенно бесполезному для нового решения слою закрепленного грунта было приковано столько внимания прессы и чиновников.

Единственной компенсацией исключения трех уровней распорных креплений в новом проекте стало устройство закрепленного массива шириной 2 м за наружным контуром шпунта. Для этого обильно применялась технология *jet-grouting*. В грунтоцемент зачем-то с внешней стороны с шагом 1 м погружались металлические двутавры №40. Нет сомнения в том, что грунтоцемент способен работать на сжатие. Армирование сжатой зоны двутаврами поэтому совершенно излишне. Грунтоцемент не в

состоянии сопротивляться изгибным деформациям. На роль арматуры в растянутой зоне был назначен шпунт, к которому, по мысли авторов проекта, так и лип грунтоцемент. Шпунт об этом не знал и оставался, как и раньше, просто шпунтом.



Вертикальный массив грунта, закрепленный по технологии jet grouting по контуру всего котлована.



Найдите 5 отличий. Подсказка: на нижней картинке:

1) вместо трех распорок всего одна; 2) слой закрепленного грунта никуда не упирается; 3) понатыканы лишние сваи, чтоб держать единственную распорку-перекрытие; 4) вдоль шпунта закреплен грунт, который не может помочь работать шпунту; 5) под фундаменты накачали раствор; 6) фасадные стены соседних домов пересадили на сваи, что превратило дома в одноногих инвалидов.

Интересно, что авторы нового решения все же догадывались о последствиях его реализации. Согласно их расчетам, дополнительные осадки зданий окружающей застройки от реализации этого варианта должны были составить 70...80 мм (напомним, что исходное решение обеспечивало вчетверо меньшую осадку). По официальным сведениям, осадки соседних зданий все-таки превысили 80 мм. По нашим данным, наибольшие осадки рядом расположенных зданий превысили 100 мм. Не помогло и проведение комплекса дорогостоящих мероприятий по «компенсационному инъецированию» грунта под подошвой их фундаментов, которое было призвано стабилизировать осадки этих зданий и даже приподнять их – компенсировать накопленные осадки. В итоге они в 5 раз превысили допустимые по нормам значения. Результат весьма впечатляющий. Стоило ли менять первоначальное решение? Видимо, стоило. И немало!

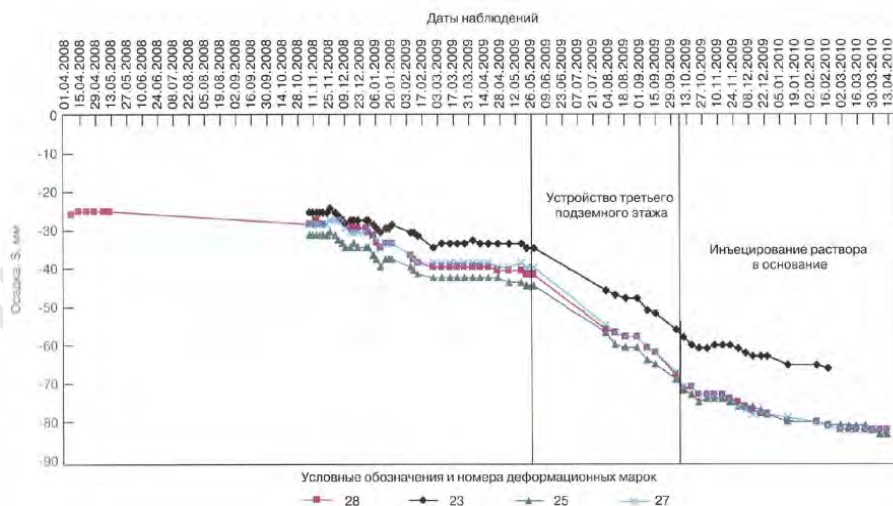
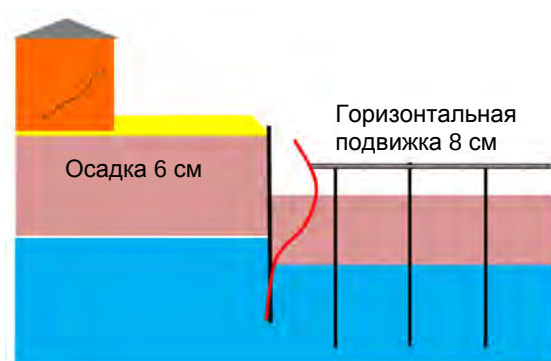
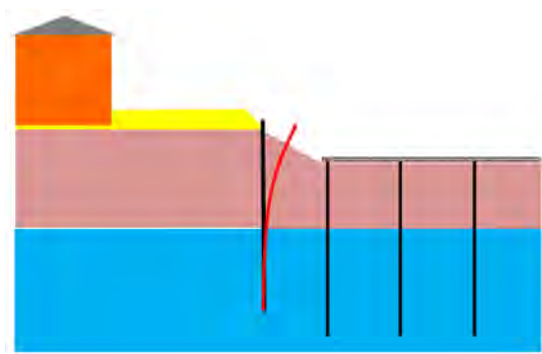


Рис. 9. Графики развития дополнительных осадок д. 1 по Мисскому пер.

Официальные данные по измерению осадок зданий возле площадки строительства Мариинки-2.



Ретроспективный анализ развития горизонтальных смещений ограждения котлована по мере откопки по осуществленному варианту проекта (на этом рисунке не показано то, что все равно не работает – псевдоусиление соседних зданий и закрепление грунта).

К чему было наступать на грабли? Ведь совершенно очевидно, что новое решение с единственным полноценным уровнем распорных креплений существенно уступает по жесткости системе из четырех уровней распорок. Похоже, это так и останется тайной: сменились два генподрядчика, три генпроектировщика и пять государственных заказчиков!

История получилась, как у А. Райкина: «Кто шил костюм? Отчего он косо сидит?» И спросить-то не с кого...

На глазах вырастает железобетонная коробка, которая вряд ли войдет в список достопримечательностей Петербурга.

Глава 19. Геотехника без геотехников

Кому из нас не знаком этот пустырь в центре города, на месте бывшего трамвайного парка, куда доблестные стражи дорожного движения еще совсем недавно эвакуировали наши не там, где им надо, припаркованные автомобили? Теперь здесь завершается строительство огромного комплекса по проекту одного очень хорошего архитектора. Предусмотрено устройство двухэтажного подземного пространства под территорией всего комплекса. Оно местами вплотную подходит к существующим зданиям.

Кризис ли тому виной или же переоценка своих возможностей, но при проектировании этого объекта как-то совсем обошлись без специалистов в области геотехники. Видимо, поэтому проект представляет собой приглашение к прогулке по граблям, среди которых встречаются и совсем детские экземпляры (которые, впрочем, могут ударить еще сильнее).

Концепция разработки подземного пространства, на первый взгляд, напоминает идею строительства Мариинки-2, о которой мы упоминали выше в главе 18. Правда, вместо «жесткого контура» здесь предполагалось устроить «жесткий остров»: погрузили шпунт по контуру котлована, сделали сваи, откопали посередине котлован на проектную глубину (шпунт при этом держат грунтовые откосы), забетонировали плиту ростверка, поставили распорки между плитой и шпунтом, после чего откопали откос и устроили железобетонные конструкции.

Разница между этими концепциями состоит в том, что откос гораздо менее надежен для удержания шпунта от горизонтального смещения. Многие известные аварии при строительстве подземных сооружений в нашей стране и за рубежом были связаны с переоценкой пользы откосов. Особенно сомнительна их роль в условиях питерских грунтов: норовит сползти либо сам откос, либо слабый грунт в его основании стремится потерять устойчивость. До поры до времени эти процессы остаются незаметными. Но для того, чтобы учитывать фактор времени, чтобы «обогнать»

угрозу опасных подвижек шпунта, надо хотя бы знать скорости развития сдвиговых деформаций в грунте. Нужно знать так называемые реологические свойства грунта. Сегодня это черным по белому прописано в Федеральном законе о безопасности зданий и сооружений.

К сожалению, для выполнения требования Федерального закона об учете реологических свойств необходимо преодолеть некоторые сложности, о которых мы упоминали в главе 5: провести многолетние исследования, разработать вязкопластическую модель поведения грунта и создать компьютерную программу типа *FEM models*.

Поэтому не приходится удивляться тому, что архитектурная мастерская даже не догадалась поставить вопрос о развитии деформаций сдвига во времени, на котором, собственно, только и может держаться успех этой концепции устройства подземного объема.

Очевидно, предчувствуя, что реальная задача сложнее, чем предложенное решение, проект был обременен такими странностями как беспрецедентно длинный шпунт (до 32 м), беспрецедентно длинные анкера (42 м) под беспрецедентно острым углом (45°), а также беспрецедентно обширная зона усиления соседних зданий.

Представьте: для котлована глубиной всего 8 м предусмотрен шпунт длиной 32 м! Вполне приличные грунты начинаются на глубине 20 м. Для того, чтобы защемить в них шпунт от горизонтальных смещений достаточно длины 25 м. Очевидно, что нижние 7 м шпунта никогда не включатся в работу. Для того, чтобы выяснить это, не нужны сложные расчеты, достаточно владеть инженерными методами действующих норм. При этом нельзя сказать, что такая длина была заложена «в запас». Не надо забывать, что любое ограждение котлована устраивается для защиты соседней застройки. Вибропогружение шпунта в твердые глины на избыточную глубину, способно, скорее, нанести вред окружающим зданиям, провоцируя развитие их дополнительных осадок.



*Вибропогружение шпунта
рекордной длины.*

Весьма любопытны и предусмотренные проектом анкера. Тут опять уместно вспомнить, чему они должны служить. Они предназначены для защиты соседних зданий от подвижки шпунтового ограждения. Является ли лучшим решением этой задачи попытка ухватиться анкерами за грунт под домом?

В Петербурге, где на глубинах до 20-30 м редко можно встретить приличный грунт, тема анкеров никогда не была популярной. Чтобы достать до несущего слоя, их надо делать очень длинными. А чем длиннее анкер, тем больше его упругое растяжение. Для предусмотренного проектом анкера длиной 42 м упругое растяжение при нагрузках 75 тонн оказывается равным 4 см. Кому, скажите на милость, нужна такая «резиночка», не способная удержать шпунт от смещения в 4 см, которое уже опасно для соседней застройки!?

Весьма показательна и методологическая ошибка, часто допускаемая при испытаниях анкеров. Современные анкера типа «Титан» выполняются с цилиндрической грунтоцементной оболочкой по всей длине тяги. Следовательно, при испытании анкера его выдергиванию из грунта сопротивляется вся его боковая поверхность (за счет трения по грунту). В рабочем же режиме анкер предназначен только для того, чтобы с его помощью уцепиться за неподвижный массив грунта, за пределами так называемой призмы обрушения, смещающейся вместе со шпунтом. Значит, нас интересует только несущая способность анкера за пределами призмы обрушения. Спрашивается: как ее найти, если в испытании участвовала вся длина анкера? Отвечаем: а никак! Но – переживать по этому поводу не стоит, ведь анкера в данном случае совершенно бесполезны.

Остановимся, наконец, на предложениях по усилению соседней застройки. Нас, как авторов норм, поразила сама постановка задачи. Заказчик спрашивает нас: «Это правда, что в ТСН написано: какую зону влияния проектировщик определил, в той зоне и надо все дома на сваи пересаживать? У нашего проектировщика получилось сначала 25, а потом 16 зданий». – Нет, – отвечаем мы, проектировщик обязан придумать такое решение по устройству нового здания и подземного сооружения, чтобы осадки соседней застройки были допустимыми.

Усиливать соседние дома надо лишь в двух случаях: ежели они аварийные, либо их усиление явно целесообразнее, чем из-

менение проектного решения нового объекта. Последний случай удастся реализовать редко – кто же пустит строящегося соседа ковыряться в вашем доме! Сегодня проще остановить стройку. Поэтому мы считаем неправильным толкать инвестора на путь усиления окружающих зданий. Это сопряжено с высокими рисками неопределенности для инвестора, способными перечеркнуть все бизнес-планы. Лучше вложить те же деньги в собственный объект и исключить его сверхнормативное влияние на соседа.

Давайте подумаем вместе: как можно усилить соседние здания при устройстве рядом с ними глубокого котлована. Сразу отбросим всякие спекуляции на тему закрепления грунтов, компенсационного нагнетания и т.п., пригодные лишь для имитации заботы о согражданах. Допустим, мы решили пересадить соседний дом на сваи усиления. Причем мы с вами, в отличие от некоторых незадачливых проектировщиков, понимаем, что усиливать сваями надо весь соседний дом, а не часть и не межевую стену. Иначе дом станет одноногим инвалидом и со временем треснет. Тут самое время обнаружить, что под частью дома нет подвалов, подходящих для изготовления свай. Значит, придется расселять первый этаж.

Далее мы неизбежно придем к выводу, что усиление сваями может спасти только от вертикальных смещений, а при устройстве котлованов куда страшнее горизонтальные подвижки, с которыми сваям, как прутикам веника, никак не справиться. Следовательно, надо повышать жесткость самой коробки здания. Сделать это «на совесть» без расселения дома невозможно. Таким образом, усиление соседней застройки в большинстве случаев с неизбежностью вырождается опять-таки в имитацию.

Забавно, что авторы проекта решили для себя проблему влияния горизонтальных смещений на окружающие дома, удушив ее в самом зародыше: при расчетах здание рядом с котлованом они представили в виде стрелочек гибкой нагрузки, прило-

женной в уровне нижних концов свай усиления. Осталось дело за малым – обучить хорошим манерам здание и его основание.

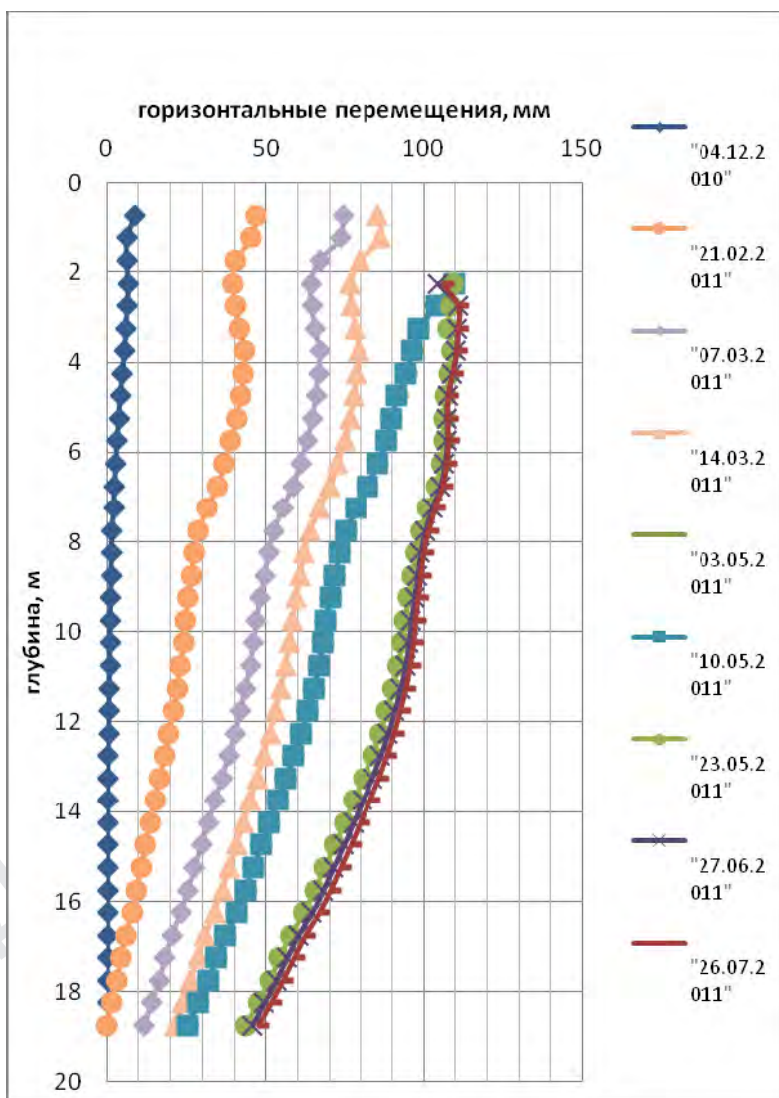
Итак, грабли заботливо разложены проектировщиком. Отойдем, уважаемый читатель, на безопасное расстояние и понаблюдаем, как по ним прогуливаются приговоренные к экзекуции заказчик и подрядчики.

Шаг первый. Вибропогружение шпунта длиной 32 м стало поистине подвигом подрядной организации. Одна только транспортировка по городу шпунта такой длины заслуживает записи в книге рекордов Гиннеса, что уж говорить о его беспрецедентном вибропогружении! Жаль только, что в эту книгу попадают по большей части совершенно бесполезные рекорды. Здесь вполне хватило бы шпунта с тривиальной длиной 25 м.

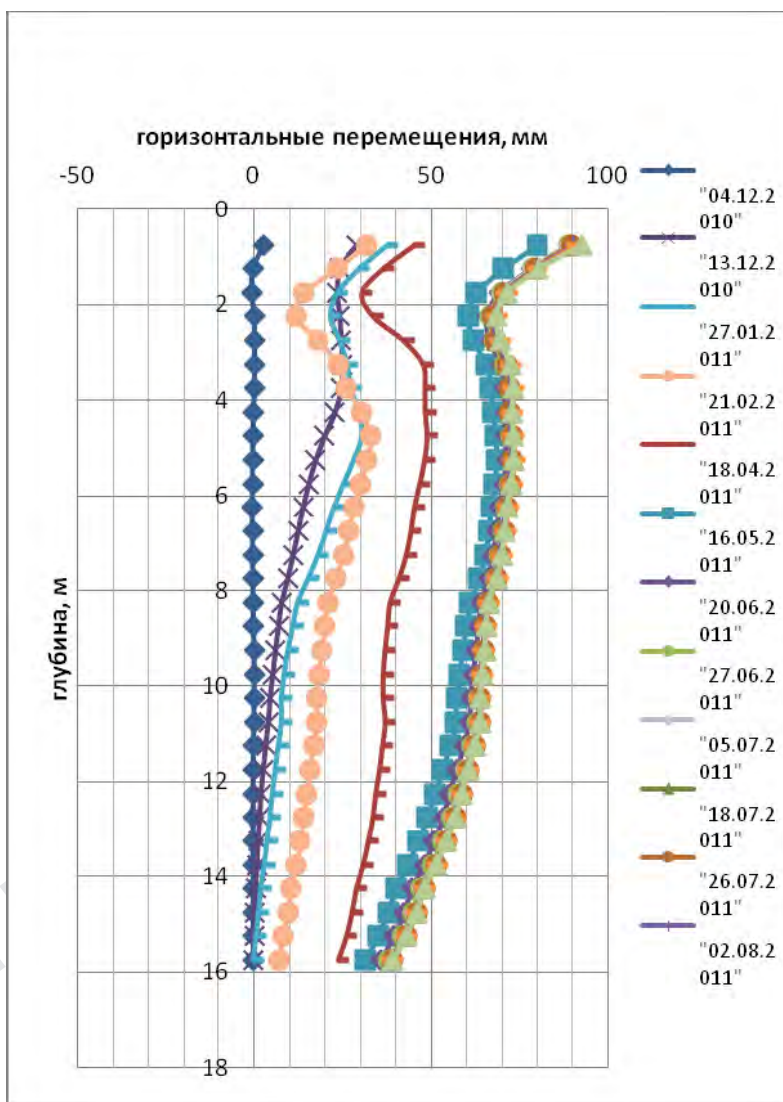
Шаг второй. Откопали котлован с откосами, призванными удерживать ограждение от смещения внутрь котлована. Оказалось, что при самой разной ширине откоса горизонтальные смещения ограждения примерно одинаковы – 100 мм. В чем тут дело? – а в том, что откос, который теряет устойчивость по слабому подстилающему слою, не может быть подпоркой для ограждения котлована.



Откопка котлована с откосами.



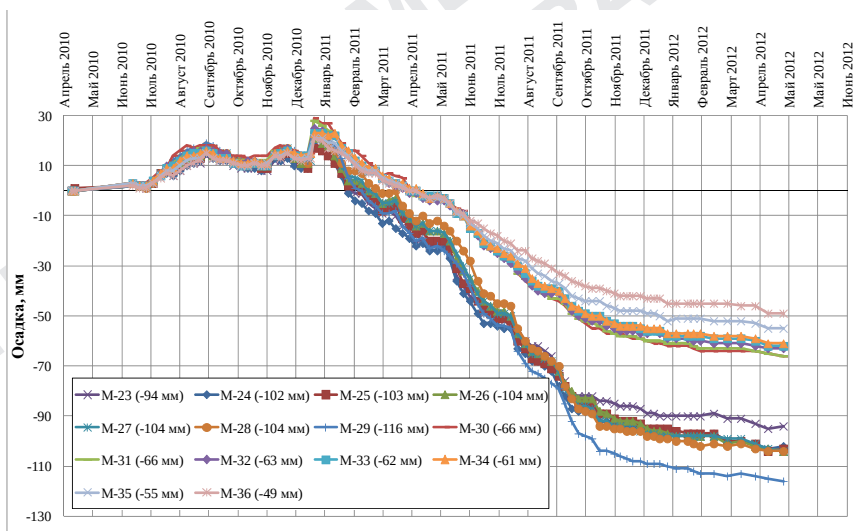
Графики горизонтальных смещений на участке, где ограждение котлована удерживалось откосами.



Графики горизонтальных смещений на участке, где ограждение котлована удерживалось и откосами, и длинными анкерами.

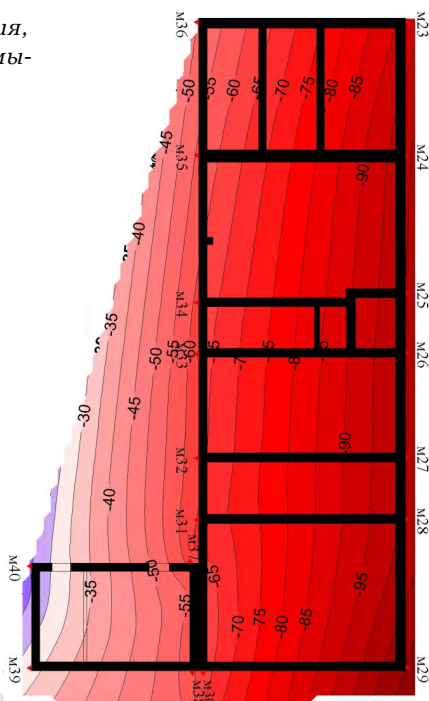
Шаг третий. При откопке котлована выяснилось, что ограждение с анкерами едет внутрь котлована на те же 100 мм!

Шаг четвертый. Прежде, чем пронаблюдать за ним, отметим, что, к счастью, ограждение котлована вплотную подходило только к одному зданию, остальные находились на расстоянии 15 м и более. Поэтому все внимание проектировщик сконцентрировал на его спасении. Сначала вдоль его границы сделали стенку из касательных свай небольшого диаметра. Потом за нею погрузили шпунт Арселор развитого профиля. Затем за шпунтом устроили еще и толстую монолитную стену в грунте. Пока все это творилось и покуда копали котлован с откосами, спасаемый дом сел все на те же 100 мм. В этом наваждении нет ничего мистического. Каждая технологическая операция, сделанная в грунте возле здания, приводит к его осадкам. Кроме того, нельзя обеспечить неподвижность ограждения котлована одним только наращиванием его толщины. Нужны надежные горизонтальные распорки (а не расползающийся откос).

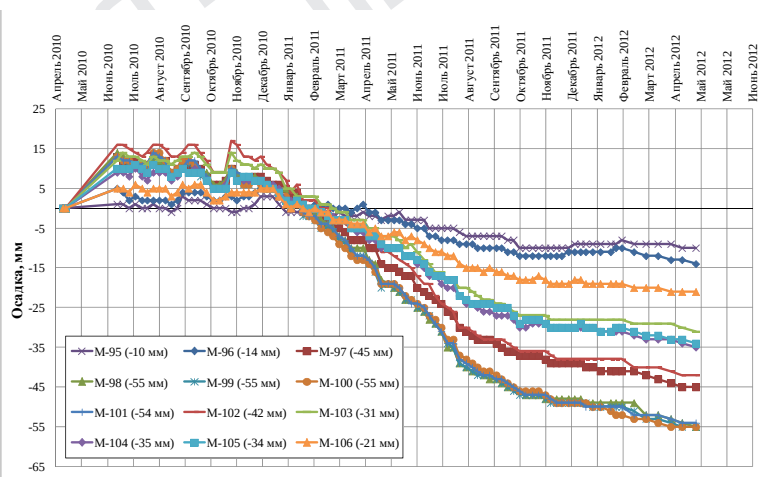


Развитие во времени осадок здания, непосредственно примыкающего к котловану: сначала дом выперли из земли на 30 мм из-за вкручивания множества буронабивных свай рядом с домом, а затем, пока спасали, уронили на 110 мм.

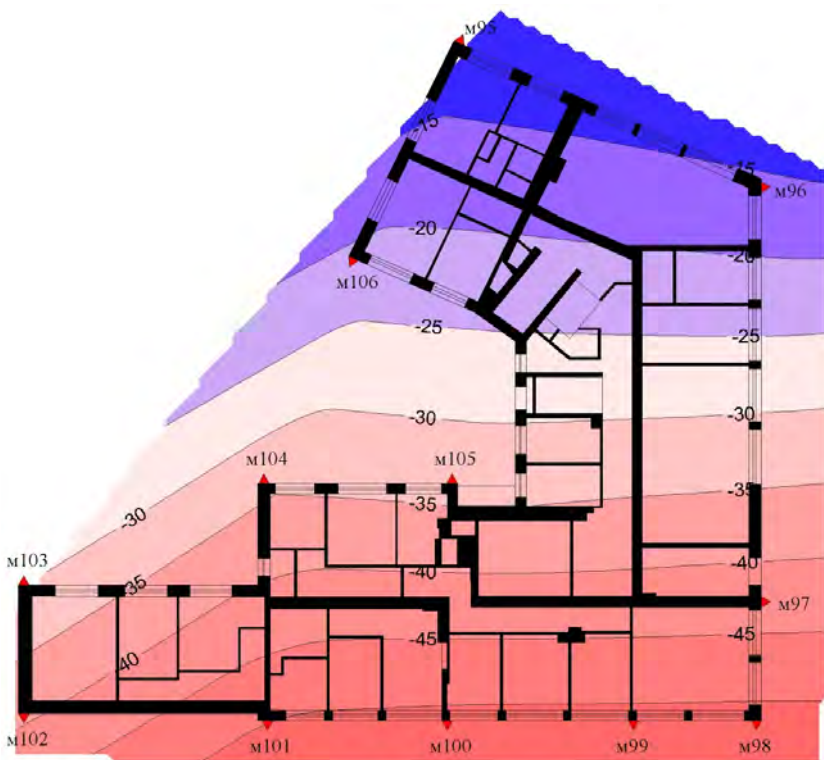
Изолинии осадок здания,
непосредственно примы-
кающего к котловану.



В воронку осадок затянуло даже дома, расположенные на рас-
стоянии 25 м от котлована – их осадки превысили 50 мм!



Развитие во времени осадок жилого дома, который находился на рас-
стоянии 25 м от котлована: выпор дома при вкручивании свай рядом
с домом составил 15 мм, а последующие осадки – до 55 мм.



Изолинии осадок жилого дома, который находился на расстоянии 25 м от котлована.

Вряд ли эта прогулка по граблям доставила кому-нибудь удовольствие. Извлек ли из нее проектировщик какие-либо уроки, нам не известно. Но мы точно знаем, что не бывает геотехники без геотехников, как архитектуры без архитекторов.

Кажется, И. Крылов сказал: «Пирог должен печь пирожник, а сапоги тачать сапожник». Нельзя забывать русских классиков, хоть и далеких от геотехники.

Есть такой парадокс древнего философа Зенона: чем больше круг знаний, тем больше и граница с неизвестным. Те же, у которых знания невелики, могут даже не подозревать, сколь о многом они не догадываются.

Глава 20. Котлован на китайско-финской границе

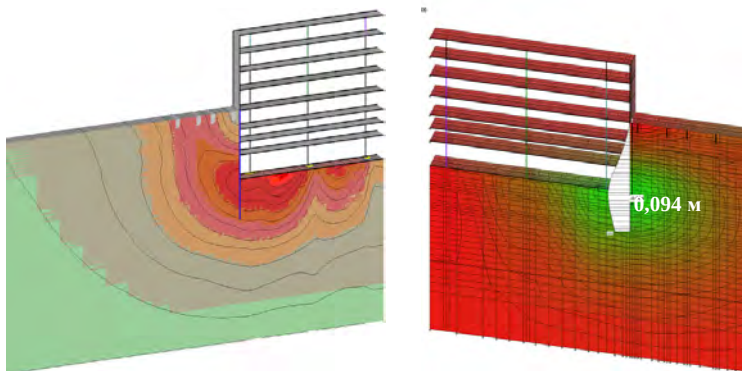
Увы, но старая шутка о полном спокойствии на китайско-финской границе обернулась в нашем городе совсем нешуточным зданием с подземным сооружением в самом центре города. Вкладывали деньги финны, а тратили их на строительство китайцы. И все было бы хорошо, и совсем бы обошлись без аборигенов, если бы не петербургская специфика – сложные грунтовые условия. Здесь без местного опыта не обойтись (так сам Еврокод говорит!).

Задача оказалась архисложной: надо построить четырехэтажный подземный паркинг глубиной до 14 м и размерами в плане 138×87 м вплотную к исторической застройке. Для того, чтобы окружающие дома не посыпались в котлован, ограждение не должно иметь прогибов и смещений. Каждый сантиметр подвижки ограждения приведет к приросту осадки соседнего дома на сантиметр. Следовательно, ограждение должно быть: А – жестким, В – раскрепленным, С – безопасным в изготовлении.

Уже на стадии экспертизы проекта нам стало ясно, что для этих целей не годится предложенное шпунтовое ограждение, даже если раскрепить его в нескольких уровнях по технологии *top-down*¹. Во-первых, оно гибкое. Шпунт самого причудливого профиля еле дотягивает до жесткости железобетонной стены в грунте толщиной 800 мм. Во-вторых, для его погружения на нужную глубину чаще всего приходится применять высокочастотную вибрацию, что опасно для здоровья соседней застройки и ее жителей. Здесь нужна именно стена в грунте и, может быть, даже с контрфорсами, значительно уменьшающими ее податливость. Стена в грунте плюс раскрепление перекрытиями по технологии *top-down* – вот залог безопасности окружающих зданий.

Надо сказать, что к моменту строительства технология устройства монолитной стены в грунте уже прошла стадию апробации.

¹ *top-down* – такая технология, когда строят одновременно вверх и вниз, а перекрытия подземных этажей используют как распорки для ограждения котлована



По расчету наблюдается тенденция смещения грунта по круглоцилиндрической поверхности; шпунт смещается на 9,4 см, такие же осадки получает соседний дом.

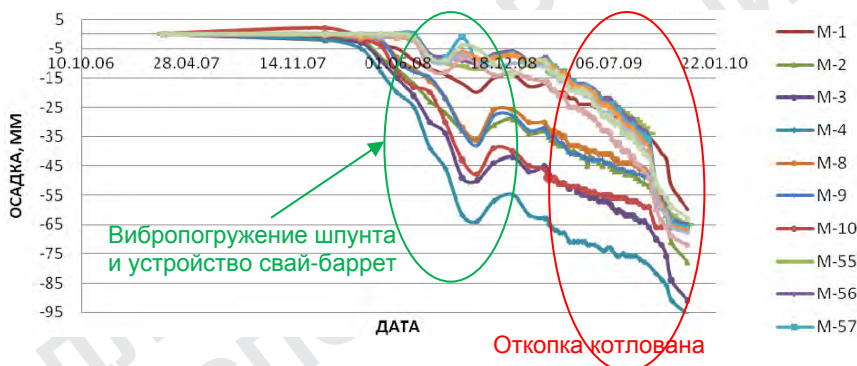
К сожалению, эти простые доводы не были услышаны застройщиком. Он уже купил шпунт и поэтому для него вопросы безопасности соседних зданий как-то сами собою отошли на второй план. Авторы проекта попытались компенсировать недостаточную жесткость ограждения устройством еще одного распорного уровня из закрепленного грунта ниже дна котлована по технологии jet grouting², а также усилением фундаментов соседних зданий наклонными сваями. Однако при пролетах 80 м распорка в виде 2-метрового слоя закрепленного грунта работает плохо, а если ее сделать фрагментарно, клочками, то совсем не работает (именно этот вариант и был принят бережливым заказчиком). Усиление соседнего здания было выполнено наклонными сваями (работающими в том числе на изгиб) с центральным армированием. Отечественные и зарубежные нормы не допускают принятия подобных решений, поскольку несущая способность

² jet grouting – струйная технология или высоконапорная инъекция – использует струю цементного раствора, выходящую под давлением 300 атмосфер из сопла опущенного в скважину вращающегося монитора. Она режет грунт, превращает его в пульпу и вытесняет на поверхность, заменяя цементным раствором. В результате образуется цилиндр из цемента с добавками грунта. Он в 100 раз прочнее, чем грунт, но в 100 раз слабее, чем бетон.

такой сваи по материалу при изгибе ничтожна. Удивительно, что столь очевидное нарушение элементарных требований норм по проектированию свай как железобетонных конструкций довольно часто встречается в практике усилительных работ.

«Надо хотя бы апробировать проектное решение на опытном участке»,- робко предложила государственная экспертиза. «Зачем? – удивился застройщик. – Если опыт не удастся, куда я дену шпунт? Будем экспериментировать сразу же на соседних домах!»

И вот дорогостоящий результат эксперимента. Соседний дом, усиленный сваями, сел на 95 мм. Другой дом, владельцы которого воспротивились такому усилению – на 70 мм. Это наглядная иллюстрация пользы наклонных свай с центральным армированием.



Так развивались осадки соседнего дома, пересаженного на сваи.

Надо сказать, что достигнутый результат, в 5 раз превышающий допустимые нашими нормами пределы развития осадок, – ОЧЕНЬ счастливое окончание для этой стройки. И вот почему.

Когда применяется недостаточно жесткое ограждение, остается единственный шанс сохранить соседние здания – это сверх-скоростная откопка котлована. Чем быстрее откопают этаж и устроят распорный диск, тем меньше сдвинется ограждение внутрь котлована и меньше пострадает соседняя застройка. Для осознанного выбора такого весьма опасного принципа ведения работ,

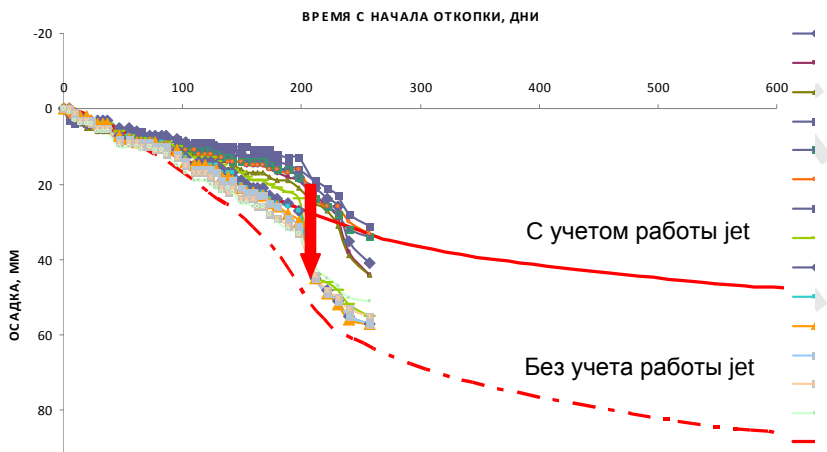
надо, как минимум, знать реологическое поведение грунтов площадки (проще говоря, скорость их деформирования). Надо рассчитать, насколько под давлением грунта сдвинется ограждение за время откопки каждого подземного этажа, когда сможет включиться в работу твердеющий железобетон распорного диска. По нашему глубокому убеждению, успех строительства не должен базироваться исключительно на расторопности подрядчика, тем более, когда не известно, с какой же скоростью происходят деформации грунтов.



В этой трудной ситуации мы и застали бедного подрядчика. Его международные консультанты вторили нам: опасно реализовывать проект, в котором нет инструментов для исключения развития аварийного сценария. Надо сказать, что он понимал, во что ввязался, но у него не было пути назад. Мы долго думали, как помочь подрядчику построить дом с подземным паркингом так, как ему велит заказчик, и при этом не подвергнуть опасности жителей соседних домов. И придумали.

Недостающие данные о скоростных характеристиках деформации грунта можно получить в процессе устройства двух верхних подземных этажей, когда риск для окружающей застройки еще невелик. Для этого надо измерить горизонтальные смещения шпунта и осадки соседних зданий. После этого «обратным» расчетом можно определить реологические параметры грунта. Так мы и сделали. Вычисленные характеристики, управляющие скоростью развития деформаций, мы далее использовали для

прогноза того, что может случиться далее, при откопке двух нижних этажей. В результате подрядчик получил ясную информацию: он должен копать со страшной скоростью, если не хочет заниматься извлечением соседних домов из своего котлована.



Сопоставление нашего расчетного прогноза развития осадок соседних зданий и реальных наблюдений. Стрелкой показан момент времени, когда «якорь» из закрепленного грунта стал сдвигаться вместе с ограждением котлована.



Горизонтальная подвижка ограждения котлована (красная линия) провоцирует осадки соседнего дома (семейство разноцветных линий). При приближении к котловану значение осадки приближается к величине горизонтальной подвижки ограждения.

Вот уж не позавидуешь подрядчику, подобно горнолыжнику летящему перед снежной лавиной. Стоит замешкаться на мгновение – и вот уже волна необратимых подвижек в массиве грунта накрывает все плоды трудов. Надо отдать должное отважному подрядчику: соседние дома удалось спасти, они получили осадку «всего лишь» 95 мм и остались ремонтпригодными. Но этот случай никак не может стать примером для подражания.

Напротив, это предостережение и для экспертизы, которая не особенно любит проверять правильность расчетов, и для строительного надзора, который иногда склонен излишне защищать застройщика от назойливых жильцов соседних зданий. Эти инстанции, созданные для защиты города от разрушений, на данном объекте вели себя весьма скромно и застенчиво. Возможно, дело было в том, что строительный надзор в лице своей дочерней структуры сам подрядился помогать застройщику и вел мониторинг за строительством. Она установила, что все отлично, а соседние дома сами виноваты, что дожили до старости, отчего и треснули. И осадки совсем не 95 мм, а всего 50 мм, потому, что их считать надо не с самого начала стройки, а с ее середины, чтобы не портить отчетность. Кто ж упрекнет строительный надзор за то, что он своевременно не вмешался в ситуацию? Упаси Боже увидеть здесь пресловутый конфликт интересов между рукой карающей (стройнадзором) и рукой, зарабатывающей свой хлеб в непосильной конкурентной борьбе на ниве мониторинга (его коммерческой структурой). Но как не просто по-отечески журить тех, кто заказывает музыку!

Глава ?? **Опускной колодец, который упустили**

При строительстве подземных инженерных сооружений в «чистом поле» часто применяется классическая технология – так называемый опускной колодец. Технология эта стара как мир: берешь лопату, залезашь в кольцо, копаешь внутри – кольцо идет вниз. Таким же образом можно погрузить и мощное железобетонное кольцо большого диаметра – разве что откопка внутри ведется с помощью техники. Этим способом выполнено множество подземных сооружений различного диаметра и даже прямоугольных в плане. Есть и достаточно внушительные колодцы диаметром более 100 м. Специалисты института «Геореконструкция» запроектировали более сотни подобных сооружений. Встречались очень сложные условия – посреди реки на песчаном острове.

Но зачем нужны специалисты, когда гораздо интереснее и, на первый взгляд, дешевле без них: а вдруг получится? Поэтому история опускного колодца, которую мы расскажем, оказалось самой захватывающей. По размерам он был весьма скромнен: диаметр 20 м, глубина 12 м. Казалось бы, его устройство должно было пройти без проблем: накоплен колоссальный опыт возведения таких сооружений. Но не тут-то было.



Опускной колодец канализационной насосной станции (вид после усиления сваями и появления крена до 1200 мм).

Все как-то не складывалось с самого начала. Помните, в главе 3 мы писали, насколько важно правильно определить инженерно-геологические условия. Беды опускного колодца начались именно с геологии.

Заказчик, казалось бы, должен понимать, что экономия на геологии – самый верный способ потратить уйму денег на исправление строительных ошибок. Однако на практике стремление сэкономить на геологии – рядовое явление, поскольку экономия – она сейчас, а возможные проблемы – потом. Как можно выполнить геологию дешевле? Самый простой и популярный способ – обойтись без испытаний грунтов. Это делается так: измеряется плотность и влажность грунтов, а механические свойства (именно они нужны для геотехнических расчетов) – выдумываются. К сожалению, этот способ стал настолько банальным, что у некоторых Остапов Бендеров, положивших глаз на геологию, возникло желание пойти дальше. Правда, дальнейшая «экономия» носит уже однозначно уголовный характер. Вот несколько рецептов от детей лейтенанта Шмидта: 1 – делай скважины меньшей длины, а остальное дорисуй; 2 – не трать силы на бурение скважин, возьми архивную скважину где-нибудь по соседству и изобрази похожие на бумаге. Это – как лечить больного по анализам его соседа. Одна фирма – назовем ее фирмой «У» – достигла в деле бурения карандашом виртуозного уровня. Она давно была нами замечена на подлоге данных геологических изысканий и занесена в наш личный «черный список».

Первый раз мы с нею встретились лет 10 назад на одном доме возле метро «Пионерская». На площадке забивали сваи. По загадочной причине сваи не шли до проектной отметки. Глядя на геологические условия, совершенно невозможно было понять, в чем тут дело. Пробуриив проверочную скважину, наши геологи обнаружили весьма заметный метровый слой галечника и 8 слоев грунта вместо четырех. С интерпретацией названий слоев у геологов действительно иногда бывают разночтения. Но не заметить

слой галечника, при проходке которого ломается буровое оборудование, было просто невозможно.

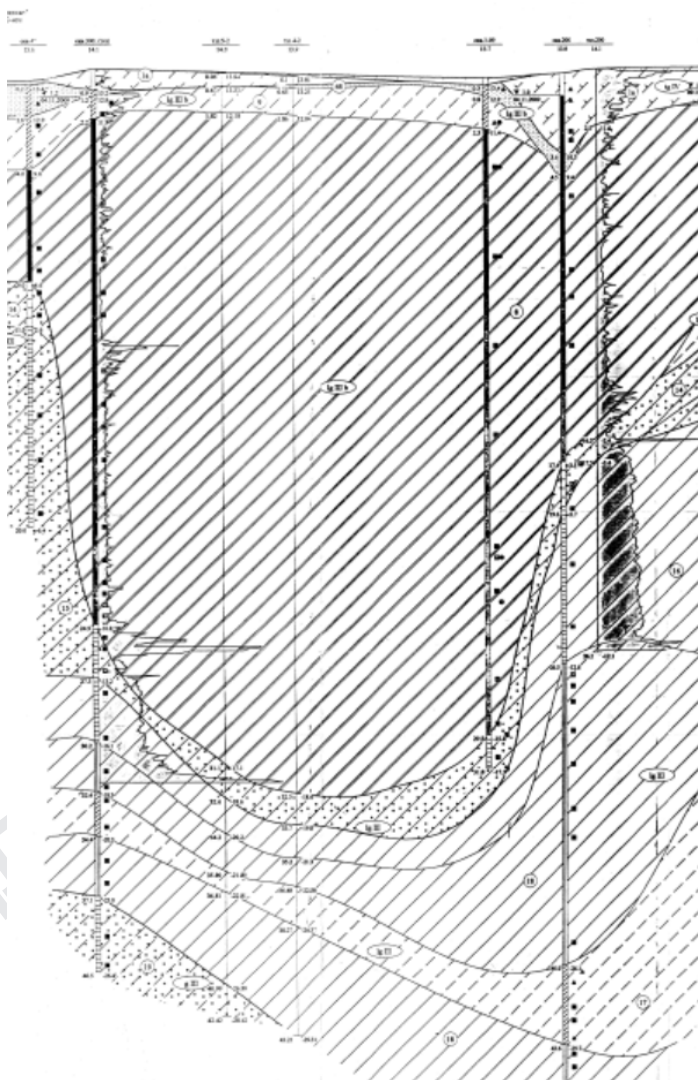
Другой раз фирма «У» отличилась на Московском проспекте, явно завысив длину своей скважины. Обнаружилось это при бурении рядом скважин в процессе дальнейших изысканий. По данным фирмы «У» там на глубину 30 м шла морена, а на самом деле с 25 м уже начинались кембрийские глины.

Но к самым фатальным последствиям вымышленная геология фирмы «У» привела на опускном колодце. На глубине около 10 м был нарисован слой морены, где колодец и должен был остановиться.

Вообще-то фирме «У» следовало знать хотя бы особенности геологических условий нашего города. Рядом с опускным колодцем протекает речка. Очень часто речки предпочитают выбирать места расположения палеодолин. Нева тоже течет над палеодолинами, прокопанными в протерозойских отложениях доисторическими потоками. Палеодолины за долгие миллионы лет заполнились самыми разнообразными и, как правило, весьма слабыми грунтами. Поэтому «рисую» геологию возле речки, нужно проявить недюжинную отвагу, достойную лучшего употребления.

Когда в процессе погружения выяснилось, что при достижении глубины 12 м колодец не собирается останавливаться, пришлось-таки фирме «У» выехать на площадку и сделать скважины на пятне застройки. Оказалось, что моренные отложения начинаются не на глубине 12 м, а на глубине более 30 м! Такая вот «маленькая» ошибочка вышла.

Особенно потешно выглядит разрез, составленный фирмой «У»: колодец точнехонько угодил в «кратер» с откосами поразительной крутизны -70°. Для петербургских грунтов такие уклоны совершенно невероятны. Причина появления «кратера» проста: фирма «У» постеснялась признаться в том, что занималась подтасовкой.



«Кратер», в который попал опускной колодец в результате бурения карандашом.

Проектировщики, не искушенные в геотехнике, не заподозрили подвоха до тех пор, пока фиктивная геология не привела к печальным последствиям. Колодец еще не успели откопать до нужной отметки, а железобетонное кольцо продолжало достаточ-

но бодро погружаться. При этом по исправленной геологии было понятно, что само оно никогда не остановится.

Возник вопрос: что же делать? Тут опять очевиден ответ: нужно выполнить анализ ситуации и откорректировать проект, а для этого привлечь специалистов. Однако здесь снова была совершена типичная ошибка (помните, как в старом анекдоте: «зачем думать, прыгать надо»): для исправления проблемы был привлечен подрядчик. Мы уже говорили в самом начале книги, что проектировать у подрядчика нельзя, он Вам «пропишет» не то, что нужно, а то, что у него есть. В данной ситуации подвернулась солидная компания, специализирующаяся на изготовлении буровых свай.

Как говорится, мир тесен, а профессиональный мир – вдвойне. Кто-то из наших выпускников рассказал нам всю эту историю. Когда мы посмотрели на геологию, сразу же стало понятно, что сваи тут не помогут. Выше моренных отложений до глубины около 30 м простирались крайне слабые грунты текучей консистенции. Представьте, что вы погрузили в жидкость бочку без дна. Понятно, что если ее разместить на сваях, то это придаст самой бочке некоторую стабильность, но несколько не поможет откачать из бездонной бочки жидкость. Если жидкость, в которую погружен колодец, достаточно вязкая, то в процессе затекания внутрь колодца она должна потянуть вниз и внутрь сваи и, в конце концов, сломать их.

Однако, когда в фирме простаивают установки по изготовлению свай, сам вопрос об эффективности их применения становится каким-то неуместным. Вероятно, поэтому было принято решение усилить колодец сваями. Были сделаны сваи и ростверки – такие массивные «ручки» у железобетонной «кастрюли» без дна.

[illegible]

A close-up photograph of a weathered wooden beam. The beam shows significant damage, including a large vertical crack and peeling bark. Below the beam, a rough, textured surface, possibly mud or plaster, is visible.

207

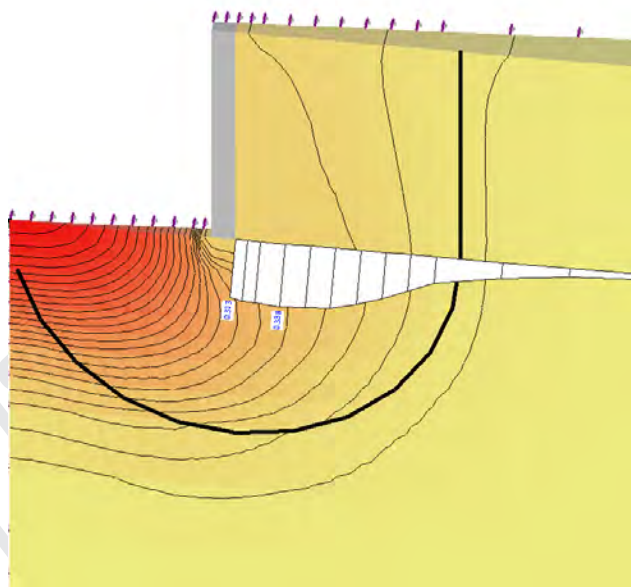
На этом этапе выяснилась еще одна ошибка: на сей раз «постарались» геодезисты, они напутали в отметках колодца на 1 м. С ошибками в этой истории никто не мелочился, все ошибались по-крупному. В результате выяснилось, что колодец все-таки слегка «не доехал» до проектной отметки (вначале полагали, что он уже чрезмерно погрузился). Прораб решил пожертвовать заделкой свай в ростверки и спилить сваи на нужной отметке. При дальнейшей откопке колодца он благополучно допогрузился и уселся ростверками на сваи.

Но дальше начало происходить именно то, что мы и «нашаманили»: на последней стадии откопки грунт, естественно, продолжал поступать через дно колодца. Начались проблемы с бетонной подготовкой. Затем в одну ночь колодец перекошило, причем сразу почти на метр. Через некоторое время крен достиг 1.2 м, а колодец изнутри заполнился грунтом почти на треть. Этот несчастный колодец мы застали уже в перекошенном положении, изображенном на фото.

Прежде всего, нужно было проанализировать, что же произошло. Сначала мы сделали исследование свойств грунтов: прежним геологам доверия не было, да и лабораторных испытаний грунтов, нужных для расчетов, они не делали. Мы рассчитали поведение грунта при откопке с помощью двух расчетных программ, а также придумали специальный аналитический метод расчета данной ситуации. Все методы расчета показали, что докопать колодец до проектной отметки никак невозможно. Происходила потеря устойчивости грунта, он затекал внутрь колодца. Действительно, внутри колодца наблюдался вал выпора, вокруг колодца образовался «провал» грунта. Заметим, что анализ таких аварийных ситуаций очень полезен для оценки достоверности различных методов расчета в сравнении с реально наблюдаемой картиной.

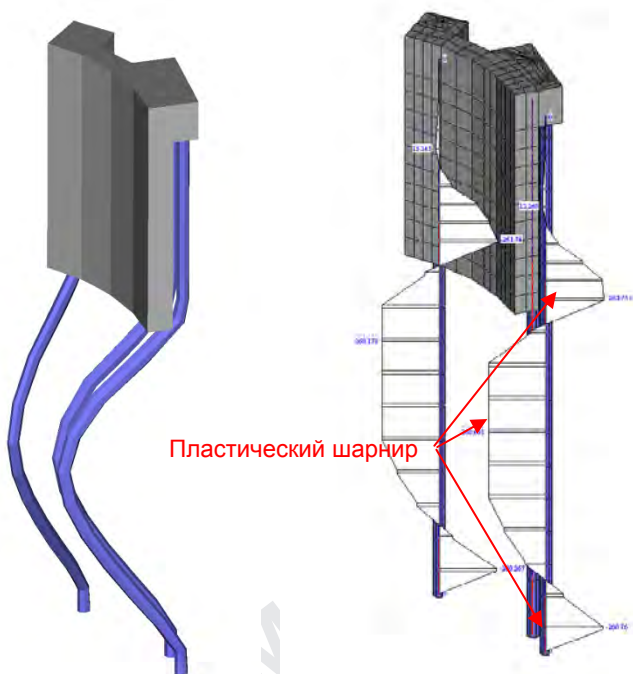
Весьма загадочным оказалось поведение свай. Когда откопали один ростверк, выяснилось, что одна из двух свай в ростверке «убежала» вниз, опережая оседающий колодец. Оказалось, что и

данная ситуация вполне соответствует расчетной картинке. При моделировании задачи с учетом свай выясняется, что сваи никак не могут удержать грунт от затекания внутрь колодца. Это только кажется, что железобетонные сваи диаметром 620 мм являются жесткой конструкцией. На самом деле тут «внутренний голос» плохо работает, поскольку нам не представить, какие силы передаются на сваи в этом случае. Расчет показывает, что грунт тянет за собой сваи внутрь колодца, изгибает их и, в конечном счете, неизбежно ломает, как спички. В процессе «затягивания» свай под колодец одна свая просто опередила другую в ростверке.



Форма потери устойчивости грунта вокруг колодца. Численное решение в программе FEM models. Коэффициент запаса меньше 1.

Очевидно, сваи сломались тоже не все одновременно. Сначала больше не повезло сваям с одной стороны, туда и перекошило несчастный колодец. На те сваи, которые не успели сломаться, нагрузка многократно увеличилась. В результате сваи начали выламывать стенки колодца (а для того, чтобы сделать трещину в железобетонной стене толщиной 1.2 м нужны немалые усилия).



Форма потери устойчивости в пространственной схеме и форма разрушения свай.

Итак, расчеты показали, что пересадка колодца на сваи не могла привести к успеху. Такой анализ, очевидно, нужно было делать до усиления сваями – тогда удалось бы сохранить прямой неперекошенный колодец. Однако в результате «слаженных действий» всех участников процесса, начиная от геологов и заканчивая авторами «усиления», опускной колодец получился, во-первых, кривым (с креном в 1.2 м), во-вторых – треснутым.

Поставленная перед нами задача спасти такой колодец оказалась не из легких. Первым делом, для предотвращения дальнейшего погружения колодца его необходимо было засыпать. По расчету требовалось добавить около 3 м грунта внутрь колодца. Когда привезли материал для засыпки, нужно было видеть лицо прораба, который уже два раза его пытался откопать...

Во-вторых, следовало сделать дно у колодца, чтобы его можно было, наконец, откопать до проектной отметки. А создать дно под слоем грунта можно было только одним способом – по струйной технологии. Но применения одной только струйной технологии недостаточно. Слой цементогрунта даже толщиной 3 м тонковат для колодца диаметром 20 м. В этот слой невозможно поставить горизонтальную арматуру, поэтому при откопке колодца он неизбежно будет сломан давлением подпирающего снизу грунта. Чтобы этого не произошло, мы «привязали» слой цементогрунта анкерами к нижним прочным слоям грунта («прибили» дно «гвоздями» к моренным отложениям). Тут снова помогли разработанные аналитические и численные методы (проверенные на практике, поскольку они позволили смоделировать все предыдущие этапы развития ситуации). Было рассчитано усилие, которое должны воспринимать анкера, чтобы днище не сломалось и не полезло внутрь колодца. В результате по сделанному нами проекту колодец удалось откопать и выполнить плиту днища уже из железобетона.

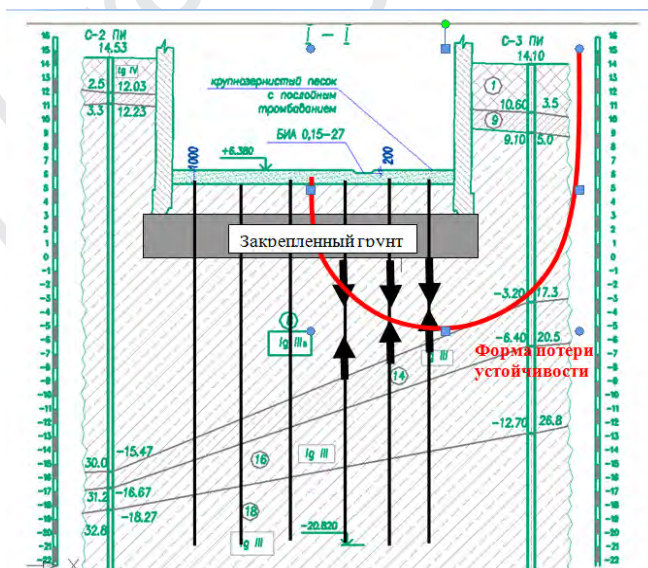


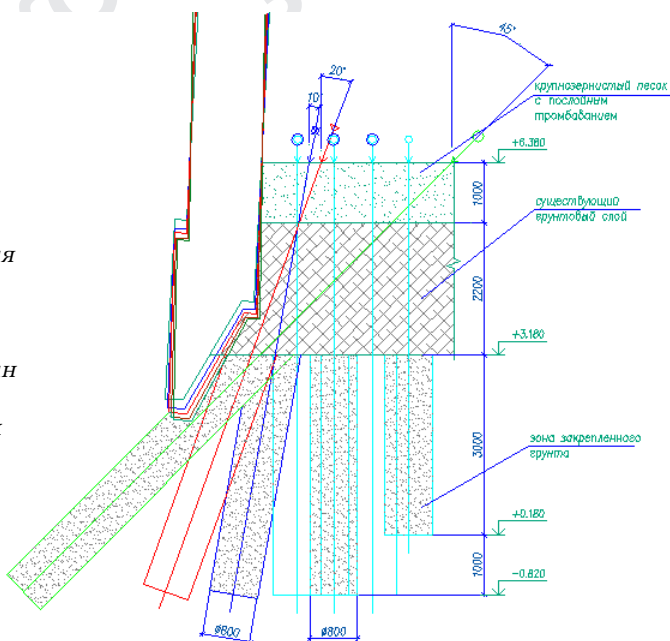
Схема работы анкеров для предотвращения потери устойчивости грунта и его затекания в колодец.

Мораль данной истории проста и очевидна. Во-первых, не нужно экономить на изысканиях. Фирмы типа обозначенной «У» вообще не должны существовать на рынке. Сегодня же они, напротив, выигрывают в конкурентной борьбе, потому что предлагают низкие цены. Действительно бурить карандашом – дешево и быстро.

Во-вторых, за исправлением ситуации нужно обращаться не к подрядчику (которому нужно продать то, что он имеет), а к независимому специалисту-проектировщику (который, проанализировав ситуацию, предложит именно то, что необходимо).

В-третьих, геотехника как наука здесь в очередной раз продемонстрировала свою эффективность. Что должно было случиться по расчету, то и случилось. Это, конечно, положительный результат для нас, геотехников. Но заказчика данное обстоятельство вряд ли может сильно порадовать. Похоже, что первоначальная стоимость колодца в результате была превышена в несколько раз. Это соотношение возможных потерь полезно было бы помнить, чтобы отказаться от ничтожной экономии на изысканиях и проекте.

Усиление основания предусматривало создание сети наклонных и вертикальных скважин для устройства грунтоцементных столбов, образующих сплошное тело.



Часть шестая

*тематические экскурсии
по замечательным объектам*

НЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 21. Экскурсия первая. Для любителей детективов. Расследование причин деформирования зданий.

Методы дедукции, известные нам по романам о сыщиках, весьма пригождаются, когда приходится определять причины деформирования зданий. Без знания этих причин невозможно поставить (говоря языком доктора) правильный диагноз и назначить методы лечения. Сам же поиск причин – сродни скорее профессии сыщика.

Биржа на Стрелке Васильевского острова

В 2002 г. весь Петербург готовился к 300-летию города. Приводились в порядок улицы, скверы, фасады домов. Один из символов нашего города – Биржа на Стрелке Васильевского острова. Она была возведена в 1805 г. по проекту Тома де Томона на месте разобранного здания Дж. Кварнеги. К Юбилею города тщательно реставрировались фасады Биржи. Но вот беда – на свежестроенных стенах появлялись трещины. Особенно пугала трещина по оси здания над полукруглым окном на фронте. Насколько опасны эти трещины? Что ждет Биржу в дальнейшем? Не надо ли усиливать своды главного зала, фундаменты? Для ответа на эти вопросы Госстроем России была привлечена институт «Геореконструкция». Специалисты исследовали все возможные «версии». Прежде всего, не заложена ли неравномерность осадок еще при строительстве – не использованы ли были при возведении нового здания Биржи фундаменты ее предшественницы – Биржи Кварнеги. Такое часто случалось в истории строительства – достаточно вспомнить Исаакиевский собор, покоящийся на разнотипных фундаментах, часть из которых сохранилась еще от проекта А. Ринальди. Эта версия была тщательно исследована и в архивах, и в натуре. Мы восстановили последовательность устройства фундаментов. Оказалось, что сперва из гранитных валунов и известковых плит был возведен ленточный фундамент под

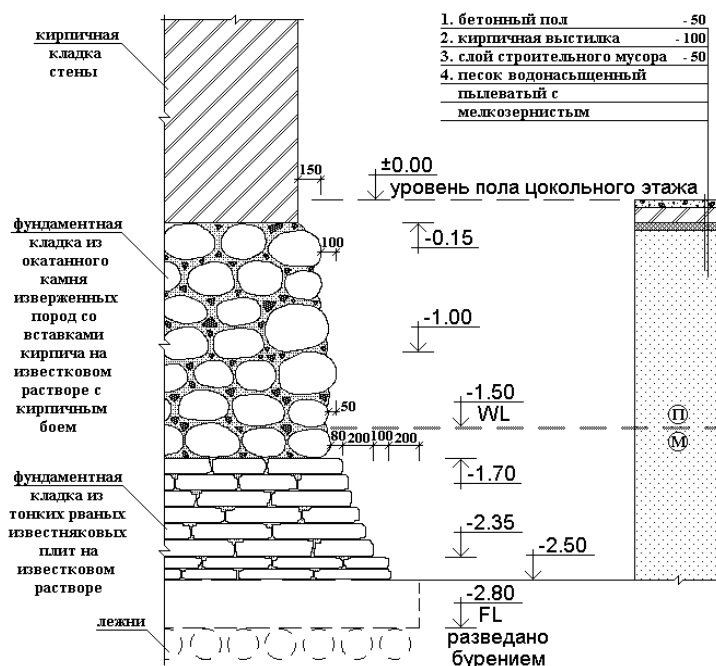
наружные стены стилобата, который образовал прямоугольную в плане дамбу.



Здание Биржи на момент завершения строительства.

Под ее защитой был откопан котлован, устроен настил из деревянных лежней, поверх которого была возведена сплошная фундаментная плита из известняка, а по ней – столбчатые бутовые фундаменты. Гипотеза о неоднородности конструкций фундаментов не подтвердилась. Гниения деревянных лежней не наблюдалось, пылеватый песок под ними имел плотное сложение. Следовательно, развитие деформаций не связано с такими типичными для Санкт-Петербурга явлениями, как разрушение деревянных элементов фундаментов и суффозное разуплотнение песков под их подошвой.

Шурф №1 Разрез

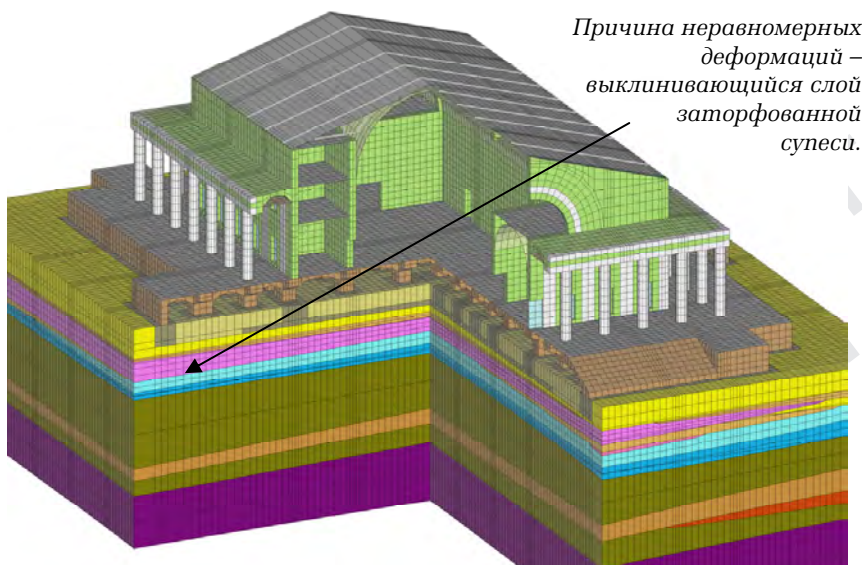


Фундаменты наружной стены стилобата Биржи.

Другой версией, высказанной в ряде ранее проведенных обследований, было предположение о связи деформаций с неуравновешенным распором центрального свода. Обследование конструкций заставило отвергнуть и эту гипотезу, как несостоятельную. Оказалось, что при реконструкции Биржи в 1914 г. по проекту Ф. Лидваля был устроен ложный свод, из подвешенных к консолям железобетонных ферм.

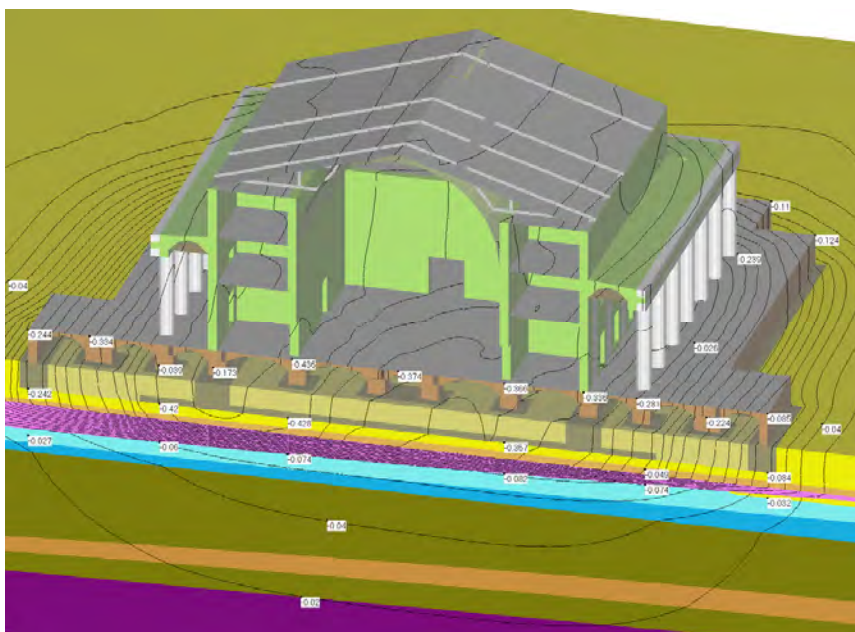
В итоге список гипотез сократился до единственной: неоднородности инженерно-геологических условий территории. Проведенные нами геофизические исследования (сейсмотомография) подтвердили наличие более слабых грунтов под южной частью здания.

Как проверить эту гипотезу? Здесь на помощь приходит программа *FEM models*, позволяющая моделировать взаимодействие здания и основания.



Фрагмент расчетной схемы здания Биржи и основания.

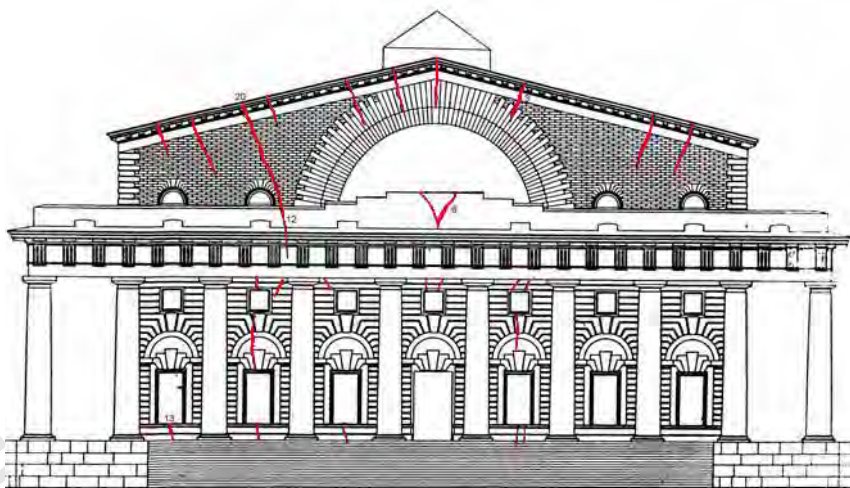
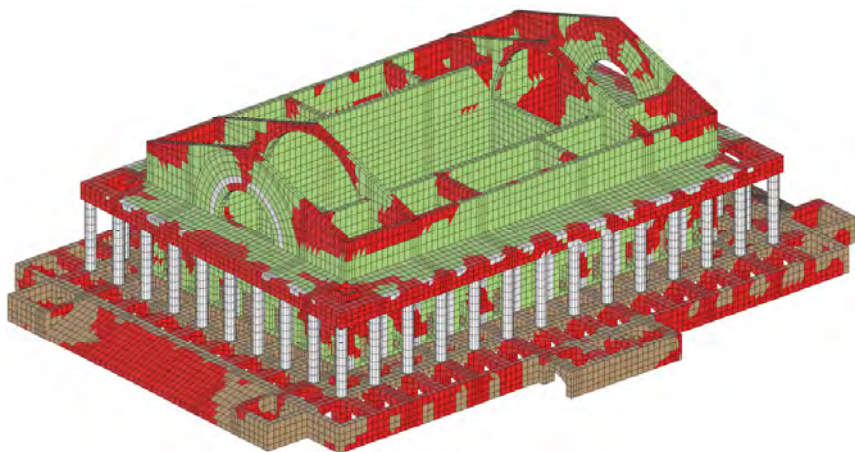
Как показали расчеты, осадка здания происходила неравномерно: за период его существования южный фасад сел на 43 см, а северный – на 28 см. Неравномерность осадок по расчету (15 см) вполне соответствовала геодезическим измерениям. Разумеется, геодезические наблюдения за Биржей с момента ее постройки не проводились, но представление о накопленной неравномерности осадок можно получить, если выполнить нивелирование баз колонн и пилястр по всему периметру здания. В результате измерений было установлено, что южный фасад получил осадку на 13... 14 см больше северного.



Изолинии осадок здания Биржи по результатам совместного расчета.

Наибольший вклад в развитие неравномерных осадок вносит слой заторфованных супесей. Он клином залегает под зданием Биржи: под южным фасадом его толщина максимальна (до 3 м), а под северным – всего 0,5 м.

Из-за развития неравномерных осадок в стенах здания возникают зоны растягивающих напряжений. А там, где в кирпиче есть растяжение, образуются трещины. Расчетная картина вполне согласуется с наблюдаемым рисунком трещин.



Места возможного развития трещин в кирпичной кладке (красным цветом обозначены зоны главных растягивающих напряжений) и расположение трещин по результатам обследования

Таким образом, наше расследование со всей определенностью показало: причина раскрытия трещин – неоднородность геологического напластования. Этот фактор проявляется в течение 200 лет существования Биржи и не сможет привести к активизации ее деформаций в будущем. Проявление старых трещин на обновленной штукатурке происходит из-за динамического

фона, обусловленного движением транспорта ($0,035 \text{ м/с}^2$). Геодезические наблюдения, проведенные нами в 2002-2005 гг., показали, что скорость развития осадок здания Биржи не превышает 3 мм в год, что характерно для зданий на слабых грунтах при наличии постоянного динамического фона.

В перспективе нет оснований ожидать прогрессирующего роста деформаций здания и при сохранении существующего status quo усиления Биржи не потребуется.

Как мог заметить Уважаемый Читатель, специалисты «Георе-конструкции» предотвратили опасность бездумного и ненужного усиления фундаментов здания Биржи, к неудовольствию многих желающих в нем поучаствовать. Но надо помнить, что девизом подлинного специалиста, как и врача, всегда должен быть принцип «не навреди». Всякое усиление – это операция. И к ней надо прибегать лишь тогда, когда она необходима.

Кронштадтский Морской Собор

Однажды вечером во второй половине мая 2009 г. внутри Кронштадтского собора раздался громкий хлопок, похожий на выстрел корабельного орудия. В арочных перемычках поперечных стен обходной галереи образовались сквозные трещины, посыпались куски штукатурки, из перемычки с грохотом выпал кирпич. Наклонные трещины проявились в боковых башнях лестничных клеток. Это событие вызвало большой резонанс. Как всегда, появилось множество желающих что-нибудь усилить, как-нибудь помочь. Одна фирма, поднаторевшая на перепланировке квартир, предлагала даже пробурить четыре скважины, накачать в них побольше цемента – и собор спасен («чего тут думать – спасать надо!»).

Комитет по охране памятников остановил это безумие. Было дано 20 дней для того, чтобы поставить точный диагноз (что происходит?) и дать ответ на вопрос: что делать? Количество «спаса-

телей» резко поубавилось. Остались те, кто не только **хотел**, но и **мог** помочь.

Задача оказалась непростой. В соборе, построенном в 1914 г. по проекту гражданского архитектора Косякова, использовался новый по тем временам материал – железобетон. Из него был выполнен главный купол, а точнее, его нижняя полусфера, видимая изнутри. Фундаменты были сделаны из монолитного бетона, армированного двутаврами. Стены, своды, пилястры были выложены из кирпича. В 1930-е годы в соборе была выполнена реконструкция. Перекрытие отделило купольную часть собора, превратив нижнюю в концертный зал. В стенах собора, сводах, подкупольных опорах имелось множество трещин, казавшихся, на первый взгляд, хаотическими. Что послужило причиной их образования?

Существовало несколько версий: увлажнение кладки стен и их разрушение при промерзании и оттаивании; ослабление основания из-за действия какого-либо природного или техногенного фактора; гниение деревянных свай под подошвой фундаментов.

Последняя версия весьма курьезна. Как следовало из отчета Косякова, при устройстве фундаментов пришлось отказаться от забивки деревянных свай, поскольку под плотным песком залегал слой тугопластичных моренных суглинков, в изобилии содержащий валуны, а ниже – слой твердых синих глин. Надо сказать, что площадка была тщательно изучена нашими предками: было пробурено 18 скважин и откопано 6 глубоких шурфов. Упоминание о деревянных сваях, «отстоящих на полметра от фундамента» (?!), имелось только в отчете начала 1990-х годов, выполненном специалистами в области космических исследований.



Металлическая конструкция в теле фундамента на глубине 0,6 м (фотография миниатюрной камерой внутри пробуренной скважины)

Как мы выяснили в ходе обследований, исследователи космоса приняли за сваи деревянный шпунт, сохранившийся вокруг здания, который использовался для ограждения котлована. Никаких свай и деревянных лежней под подошвой фундаментов не было. В этом мы убедились, выполнив два десятка скважин малого диаметра, из которых непрерывно отбирался керн материала фундамента и грунта под его подошвой. Керны шли на исследование в лабораторию, а в скважину мы опускали камеру для видеосъемки. Через скважины осуществлялось динамическое зондирование грунта для определения его характеристик в природном состоянии. Таким образом мы получали максимум информации о механических характеристиках фундаментов и грунтов при минимальном вмешательстве. Наше обследование подтвердило, что отчетам Косякова вполне можно доверять.



Дефекты, обусловленные проникновением атмосферной влаги и промораживанием кладки.

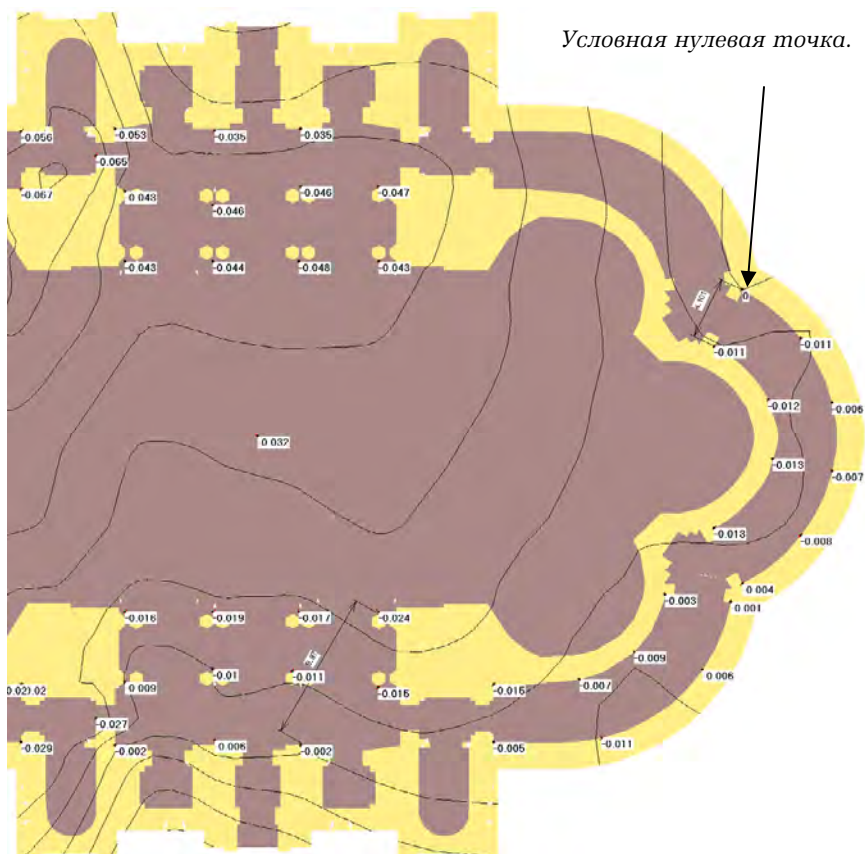
Версия о морозобойном разрушении кладки стен оказалась весьма продуктивной. По нашим расчетам, при имеющейся за последние 100 лет статистике температур воздуха, из года в год каждый январь кирпичная кладка промерзает на глубину до 30 см, а в каждом апреле – полностью оттаивает. Если же кирпичная кладка увлажнена из-за протечек кровли или проницаемости окрытий, при промерзании происходит ее разрушение. В момент обследования было обнаружено несколько опасных мест, где фрагменты наружного облицовочного слоя кирпичной кладки уже отделились от массива и угрожали обрушением.

Тем не менее, морозобойное разрушение не объясняло общей картины деформирования здания с характерными наклонными трещинами в поперечных стенах, сквозными трещинами в арочных перемычках и сводах.

Мнение наших оппонентов о том, что все они – последствия увлажнения и промораживания кладки, никак не выдерживало критики. Особенно забавно звучал их основной довод: раскрытие трещин произошло в конце мая, потому что в трещинах был лед,

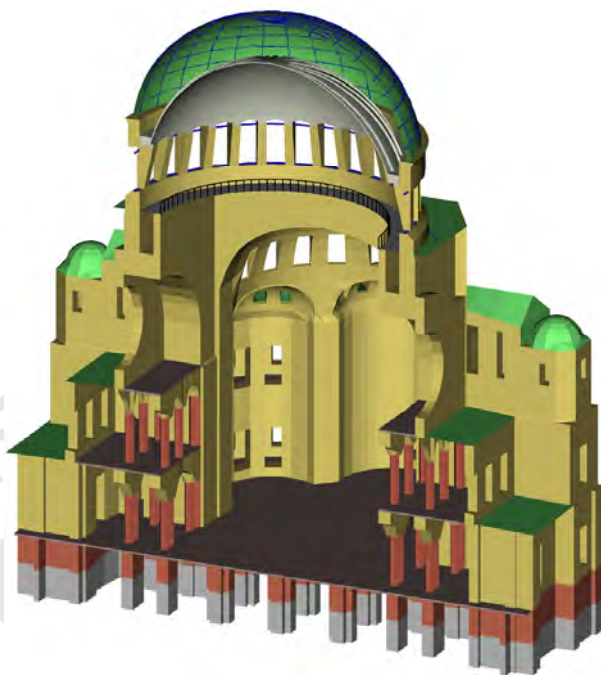
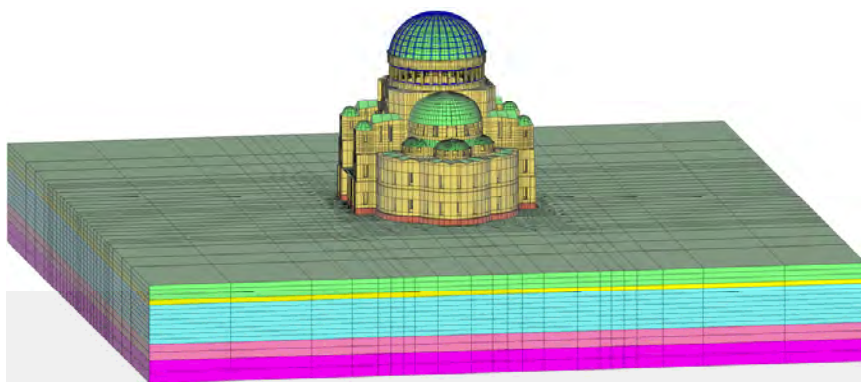
он стал таять и расширяться (!) в объеме. Потом (видя наше великое удивление), они несколько изменили свою концепцию: в глубине стен, якобы, накопился холод, а вода с крыши весной протекла внутрь трещин, там она стала замерзать и т.д., и т.п. Элементарные расчеты теплопроводности, к сожалению, не оставляют никаких шансов этой концепции.

С самого начала обследования мы убедились в том, что картина основных трещин в конструкциях собора вполне типична для крестово-купольных сооружений (а таких культовых зданий мы обследовали десятка два). Наибольшие осадки получают самые тяжело нагруженные опоры – четыре массивных пилона, на которые опирается барабан купола, а наименьшие осадки – наружные стены. А коли это так, то должны остаться и «улики». Мозаичные полы собора были выполнены после возведения его стен и сводов. Как показывает опыт многочисленных наблюдений, к этому времени здание должно получить 30...50% своей полной осадки. Но оставшаяся часть осадок должна оставить свой след на уклонах полов. Действительно, нивелировка полов показала, что их уровень у тяжелых пилонов на 2 см ниже, чем у наружных стен. Можно возразить: полы были уложены неровно. Но дело в том, что уклоны оказались вполне закономерными. Едва ли стоит подозревать строителей в намеренном повсеместном понижении уровня пола именно к пилонам.



Изолинии разностей отметок (м) полов первого этажа по данным геодезических наблюдений.

Другое возражение: способен ли перепад в какие-то 2 см привести к той картине трещин, которую мы сегодня видим? Этот вопрос нуждался в тщательном расчетном анализе.



*Расчетная схема здания с основанием (общий вид и разрез).
Здание моделируется объемными упруго-хрупкими элементами второго порядка. Основание моделируется пространственными вязкопластическими элементами.*

Как из конструктора «Lego» собор, со всеми его конструктивными деталями, был тщательно собран из трехмерных конечных элементов в программе *FEM models*. Весь процесс обследования

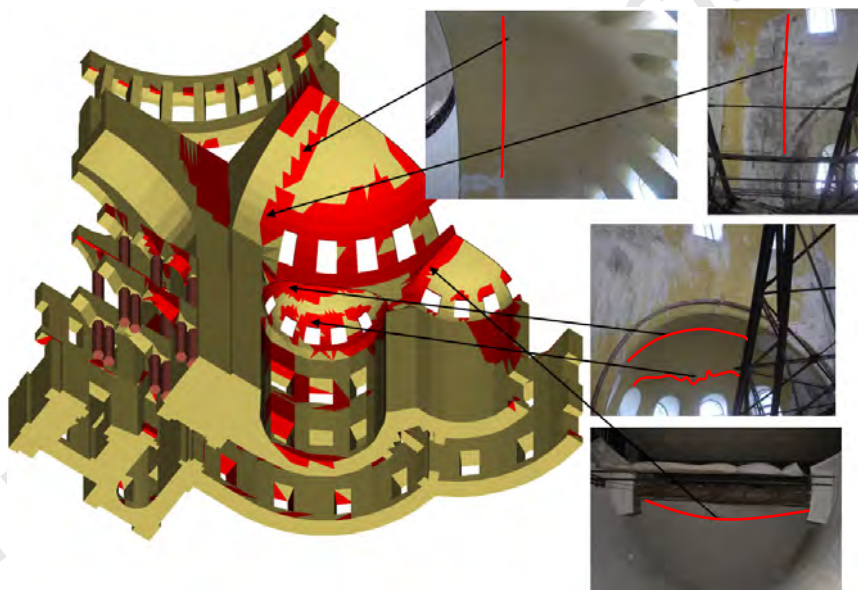
исторического здания был построен нами таким образом, чтобы получить все необходимые параметры для расчетной модели. Была определена прочность кирпичной кладки, класс бетона фундаментов и нижней полусферы главного купола, уточнена конструкция отдельных узлов и элементов, уточнены свойства грунтов под подошвой фундаментов.



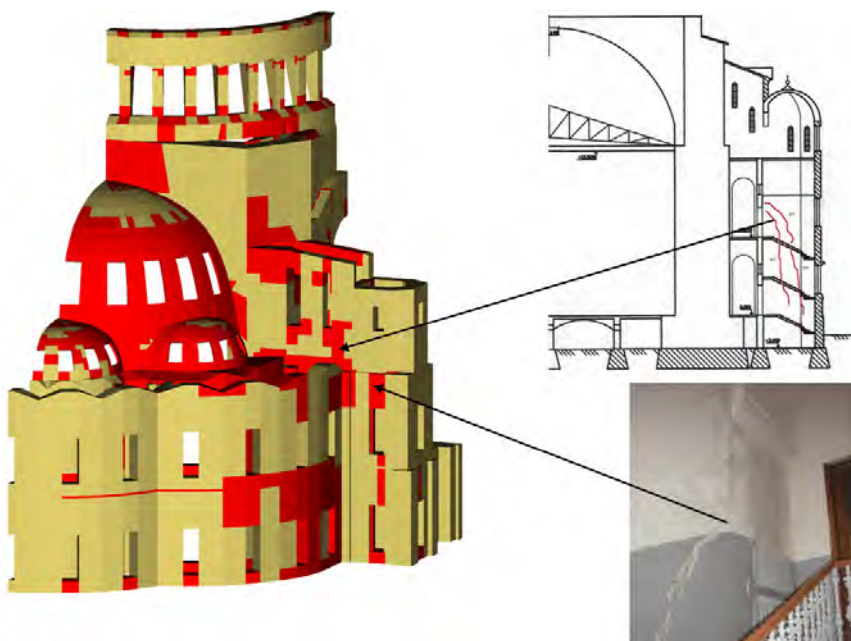
Сравнение характера развития неравномерных осадок по расчету с учетом образования дефектов (слева) и по данным геодезических измерений (справа). По расчету (слева) подписаны абсолютные осадки (м). По геодезическим измерениям (справа) подписаны разности осадок (м) относительно условной нулевой точки

Результат расчетов получился весьма примечательным. Оказалось, что за все время своего существования осадки собора составили всего лишь 8 см. Для сравнения: Исаакиевский собор сел сегодня на метр. При небольших абсолютных осадках Кронштадтский собор получил, казалось бы, и незначительную неравномерность осадок: до 2 см между наружными стенами и подку-

полными пилонами. Однако именно эти величины осадки привели к тому, что в конструкциях собора возникли зоны растягивающих напряжений. А как мы с Вами знаем, именно в зонах растяжения в кирпичной кладке и возникают трещины. Сравнивая результаты расчета и реальную картину деформирования, нетрудно убедиться в их полном совпадении. Таким образом, главным виновником образования трещин в соборе оказалась его конструкция, не терпящая неравномерных осадок.



Места возможного возникновения трещин (главные нормальные напряжения превышают предел прочности на растяжение). Вид снизу.



Характер развития трещин (итерационное решение упруго-хрупкой задачи).

Дальнейшие исследования должны были показать, имеются ли признаки ухудшения механических свойств основания в связи с воздействием каких-либо природных или техногенных факторов. Возможно также, что механизм деформирования собора был запущен еще при его строительстве, и мы наблюдали последствия «вековой» ползучести грунтов. В любом случае, существованию собора в целом сегодня ничего не угрожает (если, конечно, унять его не в меру активных «спасателей», всегда готовых что попало закачать в его основание). Имеются только локальные опасности. О возможности обрушения фрагментов наружного слоя кладки мы уже упоминали. Другой серьезной проблемой являлся скол кирпичных консолей столбов барабана, поддерживающих железобетонный купол. Здесь необходимо было незамедлительно предпринять вполне понятные усилительные меры. Насколько серьезно подошли к инженерной реставрации собора

проектировщики и подрядчики, мы с Вами узнаем через пару лет. Для этого достаточно будет поискать проявление старых трещин на обновленных интерьерах.

Башня Адмиралтейства

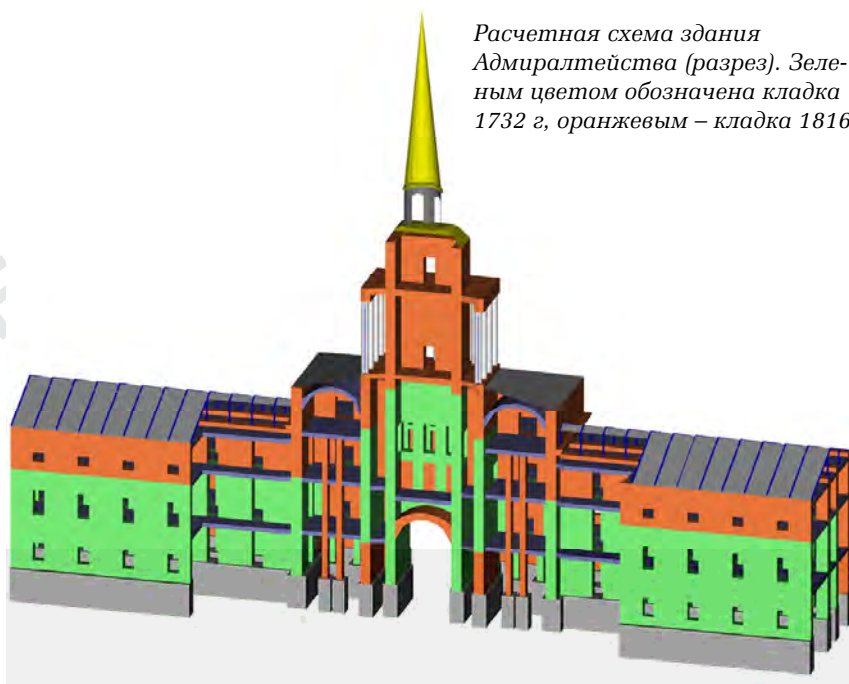
Башня Главного Адмиралтейства – еще один символ нашего города. Она была возведена в 1734 г. по проекту И. Коробова и перестроена в 1811–1823 годах по проекту А. Захарова. При реконструкции башня Коробова была обстроена новыми фасадами с высокой въездной аркой и увенчана колоннадой. В последнее время стало заметно, что главная фасадная стена отделяется от остальной конструкции башни трещинами. Как обеспечить сохранность символа города? Для этого Комитетом по охране памятников были привлечены специалисты института «Геореконструкция».

Изучив архивные документы, мы выяснили, что неравномерные осадки захаровских стен и коробовских конструкций были отмечены сразу после реконструкции башни. Фундаменты башни обоих периодов постройки выполнялись ленточными из рваной постелистой известняковой плиты на известковом растворе. При обследовании оказалось, что Захаровым при разборке внутренних стен были сохранены коробовские фундаменты. Перевязка «новых» и «старых» фундаментов отсутствовала. Фундаменты коробовского и захаровского дворовых фасадов были соединены подземными кирпичными арками (вместо привычных в таких случаях ленточных бутовых фундаментов). Наиболее глубоко (4,2 м) был заложен фундамент стены главного фасада. Разведочным бурением были найдены деревянные сваи под коробовскими фундаментами. Древесина свай оказалась здоровой, без поражений. Под захаровскими фундаментами свай, несмотря на все наше старание, обнаружить не удалось: вероятнее всего, их там нет, или же они были расставлены очень редко. Сами фундаменты, как показала видеосъемка пробуренных в них скважин,

оказались с многочисленными пустотами из-за вымывания известкового раствора из кладки.

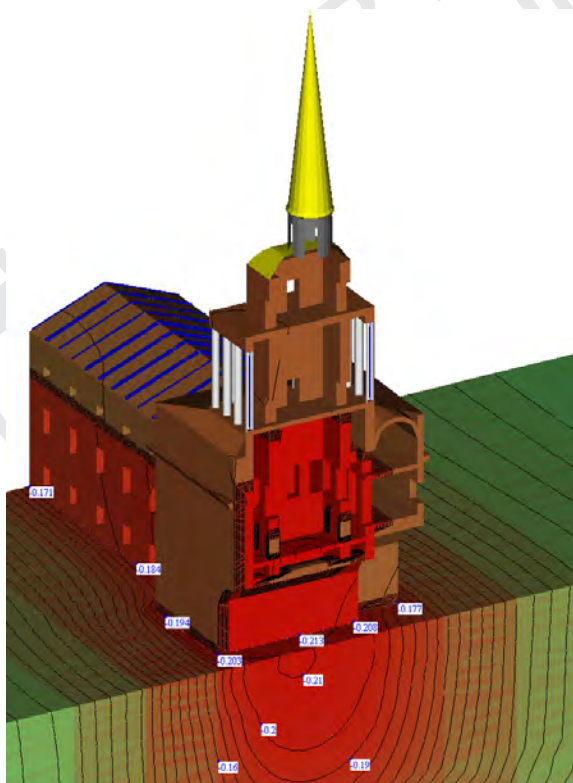
Нами были исследованы все возможные факторы, которые могут оказать влияние на развитие деформаций башни, в том числе динамические воздействия от наземного транспорта, от поездов метро. Оказалось, что динамический фон почти на порядок меньше допустимого уровня.

Может быть, под действием каких-либо техногенных факторов ухудшились грунты в основании башни? Проведенные нами изыскания показали, что фундаменты башни возведены на разнородных грунтах – насыпных и естественного сложения песках и природных песчаных супесях. Зондирование этих грунтов показало, что несмотря на неоднородность, они имеют преимущественно плотное сложение. Следовательно, ожидать подвоха с этой стороны не приходится.



*Расчетная схема здания
Адмиралтейства (разрез). Зеленым
цветом обозначена кладка
1732 г, оранжевым – кладка 1816 г.*

Для выявления истинных причин деформаций и прогноза их дальнейшего развития на помощь вновь приходит численное моделирование работы системы «здание – фундаменты – основание». При моделировании с помощью программы *FEM models* ставилась цель как можно точнее отобразить конструкции здания и историю его строительства. Сначала определялись деформации конструкций здания Адмиралтейства, возведенного в 1732 г. Коробовым, а затем учитывалось изменение расчетной схемы, связанное с появлением дополнительных конструкций при перестройке 1816 г. По результатам расчетов суммарные осадки башни достигают 20 см. При этом центральная (коробовская) часть получает большую осадку, чем стена главного фасада.



Осадки здания Адмиралтейства Захарова по расчету (м).

Разница эта, казалось бы, невелика – всего 3 мм. Но благодаря неперевязанным фундаментам этого достаточно для развития высоких касательных напряжений в кирпичной кладке поперечных стен (до 235 кПа), которые приводят к образованию трещин. Их раскрытие усугубляется общим креном башни в сторону главного фасада, обусловленным асимметричным расположением башни по отношению к зданию. Система трещин образовала деформационный шов, который может раскрываться при температурных воздействиях сезонного характера. На развитие трещин оказывает несомненное влияние также длительная (так называемая «вековая») ползучесть грунтов основания.



На рисунке слева красным обозначены зоны возможного развития наклонных трещин по расчету, справа приведена фотография развития трещин на здании

Таким образом, было установлено, что основной причиной развития трещин в башне Адмиралтейства являются неравномерные осадки, механизм развития которых был запущен еще при строительстве и реконструкции здания. Новых факторов риска не обнаружено. Зданию может быть «прописано» консервативное «лечение»: укрепление кладки фундаментов с помощью инъектирования и восстановление пространственной жесткости здания путем соединения стены главного фасада с внутренними стенам башни.

Обрушение жилого дома на Двинской улице в Петербурге

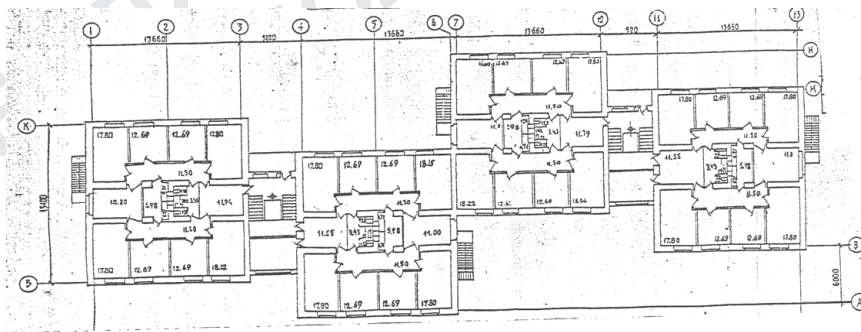
Когда на страницах этой книги мы говорили, Уважаемый Читатель, о риске для сохранности здания – мы имели в виду риск его повреждения. Обрушение зданий – это риск гораздо более высокого уровня. В развиваемой сегодня на Западе теории риска считается недопустимым, если вследствие каких-либо неучтенных факторов придется расселять более одного здания из ста тысяч в год. По экспертной оценке авторов, в нашей стране этот риск на порядок, а то и на два порядка выше. Виной тому – непрофессионализм, который, увы, встречается всегда, а в последнее время, когда за проектирование взялись неподготовленные люди, принял даже какой-то воинствующий оттенок. Аварии зданий на какое-то время отрезвляют любителей проектировать «по наитию» и строить «на авось». Но проходит время, и уроки забываются. Поэтому было бы нелишним напомнить один из них.

Огромный резонанс в Петербурге и во всей стране вызвало катастрофическое разрушение жилого дома на Двинской ул. в 2002 г.



Катастрофическое разрушение дома на Двинской ул. 8.

Кирпичное здание, построенное в 70-х годах, не имевшее трещин раскрытием более 3...4 мм, разрушилось за какие-то 40-50 минут! Когда авторы этой книжки были привлечены Госстроем к расследованию причин аварии, выяснилось, что существует целый «букет» ошибок в проектировании и строительстве этого здания.



План типового этажа дома 8 по Двинской ул.

Прежде всего, 9-этажное кирпичное здание, скомпонованное из четырех блоков, не отличалось пространственной жесткостью.

Стены были прорезаны большим количеством оконных и дверных проемов. Жестких лестничных клеток здесь не было предусмотрено. Лестницы располагались в самых «хлипких» местах здания – в перемычках между блоками. Для того, чтобы такое здание могло безопасно существовать, ему нужен очень надежный, почти безосадочный фундамент. В геологических условиях площадки, когда под насыпным слоем залегали заторфованные грунты, а под ними – слабые глинистые отложения, единственным возможным типом фундаментов мог быть свайный. Но в то время только еще начиналось применение забивных железобетонных свай для гражданского строительства. Проектировщики придумали оригинальный выход, чтобы «узаконить» фундамент мелкого заложения. Они не стали принимать во внимание отчет об инженерно-геологических изысканиях 1969 г., а поместили на чертеже примечание: «Расчет фундаментов произведен согласно распоряжению Главного инженера института (принято $\varphi_n = 20^\circ$, $\gamma = 2 \text{ т/м}^3$ при $E = 100 \text{ кг/см}^2$)». Надо ли говорить о том, что эти данные не имели ничего общего с результатами изысканий? Такое решение фундаментов не соответствовало геологическим условиям площадки и не было адекватным по отношению к типовой коробке здания, не обладающей способностью воспринимать неравномерные осадки. Добавим к этому «сущие пустяки»: фундаменты были устроены безобразно – подушки (очевидно, в целях экономии) укладывались с большими разрывами, местами фундаментами служили стеновые блоки, армированный пояс по обрезу фундаментов был выполнен некачественно, а предусмотренное проектом армирование кирпичной кладки стен отсутствовало.

В данной ситуации вместо вопроса о причинах обрушения здания впору поставить другой вопрос: каким чудом оно просто-яло 30 лет?

Строительная наука не дает ответа на этот вопрос. Во все времена и у всех народов ее предназначением было обеспечивать надежность зданий, а не экспериментировать на живых людях:

«рухнет дом или не рухнет, если нарушить законы строительной механики?».

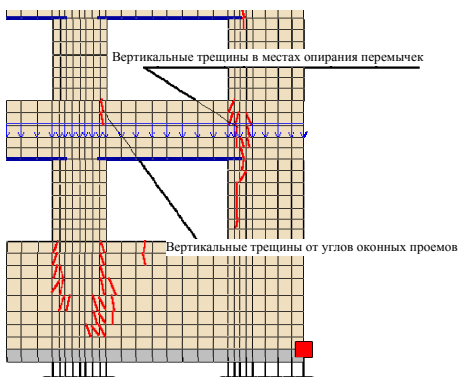
А хроника событий была такова. 22 мая 2002 г. жители дома на Двинской в очередной раз обнаружили подтопление подвала. 30 и 31 мая было замечено вытекание воды на газоне и возле здания. 3 июня, когда ремонтная служба прибыла на объект, подвал был без воды. Рабочие приступили к ремонту ввода водопровода в здание. Для этого они откопали приямок глубиной 1,4 м с размерами в плане 1.0×1.5 м. Непосредственно после откопки слышался хлопок со стороны подвала, обнаружилась трещина в здании. В приямок со стороны здания, по словам рабочих, стал осыпаться песок. Ремонтные рабочие были эвакуированы. В здании начался пожар. Южная секция стала интенсивно крениться в южном направлении с образованием раскола между смежными секциями. Через 45 минут южная секция обрушилась.

К счастью, жителей успели эвакуировать идеально сработавшие подразделения МЧС. Южная секция получила просадку до 0,5 м. Объем «призмы» осадок составил порядка 50 м³.

Итак, обрушение дома, казалось бы, совершенно явно связано во времени с неудовлетворительной работой водопроводных сетей. Значит, виновник найден? Надо сказать, что деформации зданий в нашем городе некоторые «специалисты» любят объяснять тем, что кто-то открыл «крантик» (или прорвало водопровод) – и пошли осадки. Но если внимательно изучить ситуацию, оказывается, что не только в «крантике» дело.

Для данной ситуации, когда одновременно действовало множество негативных факторов (ошибки в проекте, в строительстве, эксплуатации), достоверный анализ причин разрушения возможен только с учетом совместной работы основания, фундаментов и надземных конструкций здания. Серия численных расчетов выполнялась нами с применением программного комплекса *FEM models*.

Для моделирования кирпичной кладки использовались пластинчатые элементы, предполагающие упруго-хрупкое поведение материала.



Характерный вид развития осадочных трещин для зданий с железобетонными перемычками: слева – по расчету, справа – на соседнем здании (Двинская ул. д. 8 корп. 2).

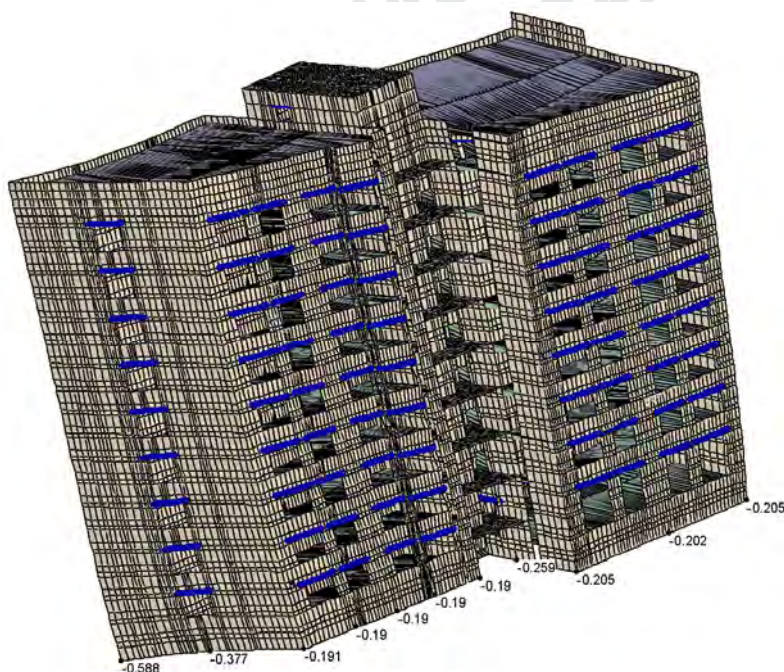
Совместный расчет основания и здания позволил не только вычислить абсолютные величины накопленных осадок, но также выявить пространственный характер распределения их неравномерности. По расчету, наибольшие осадки (до 26 см) претерпевают внутренние стены здания, максимальная неравномерность (0,003) наблюдается у аварийной секции.

Такая неравномерность приводит к образованию серии вертикальных трещин в стенах, характерных для зданий с железобетонными перемычками. В отличие от зданий старой застройки с клинчатыми перемычками из кирпича, для которых свойственны наклонные осадочные трещины, наличие более жестких железобетонных перемычек приводит к тому, что деформации межоконного блока происходят в форме его поворота как жесткого целого. Именно такие трещины наблюдались в сохранившихся блоках здания, а также в соседнем доме, построенном по тому же проекту. Трещины разбивают стены на отдельно стоящие вертикальные столбики, лишая здание пространственной жесткости.

Поначалу здание спасает то обстоятельство, что его осадки имеют вид «гамака».

Столбики стен прижимаются друг к другу и здание стоит. Но стоит вмешаться какому-либо фактору, способному опустить край «гамака» – и ничто уже не удержит такую конструкцию от обрушения.

Откопка приямка для ремонта ввода водопровода послужила той последней каплей, которая привела к выпору из-под подошвы фундаментов грунта, находящегося в предельном состоянии вследствие ошибок проекта и строительства. Появление и быстрое исчезновение воды в подвале и возле здания накануне его обрушения свидетельствовало о том, что всё грунтовое основание было «промыто» водой, были сформированы суффозионные ходы, по которым вода уходила в канализационные коллекторы или расположенный неподалеку засыпанный Сельдяной канал.



Аварийные деформации здания по результатам совместного расчета с основанием.

Все эти эксплуатационные обстоятельства не имели бы никакого значения, если бы не были допущены ошибки при проектировании здания. Проектировщикам следовало настоять на применении дефицитных в то время свайных фундаментов или же на привязке к данной площадке типового проекта здания, отличающегося большей жесткостью.

Авария дома на Двинской ул. – пример того, как каждый участник строительного процесса (проектировщик, строитель, служба эксплуатации) отобрал у здания частицу его надежности и что в результате от этой надежности осталось.

Глава 22. Экскурсия вторая.

Для любителей искусства. Дворец, театр, концертный зал

Объекты, о которых нам не терпится рассказать Уважаемому Читателю, замечательны тем, что их строительство шло очень быстро и закончилось успешно. Залогом успеха был высокий профессионализм заказчика, проектировщиков и подрядчиков. В основе их взаимоотношений лежали исключительно интересы общего дела. (Заметьте, что в русском языке «интересы дела» и «интересы бизнеса» – далеко не одно и то же.) Никто из них не пытался переложить на другого свою ответственность. Каждый оперативно решал вопросы, относящиеся к сфере его компетенции.

Константиновский дворец

В 2000-ом году Комитет по охране памятников поручил институту «Геореконструкция» выполнить обследование Константиновского дворца в Стрельне. Перед глазами специалистов нашего института предстала ужасающая картина.

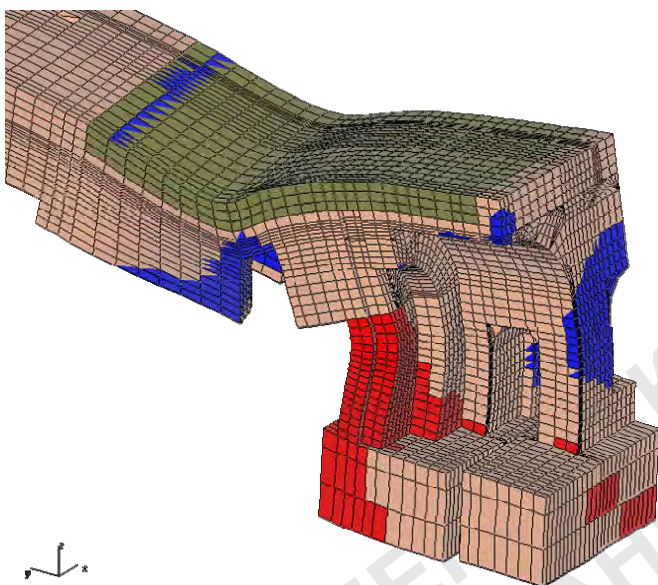


Вид Константиновского дворца в Стрельне в 2000 г.

Лоджии и гроты, образующие подпорные сооружения, удерживающие Константиновский дворец на склоне откоса (древнего берега Балтийского моря), находились на грани полного разрушения. Мощная наружная стена, отделяющая анфиладу погребов от Нижнего парка, была во многих местах обрушена, через провалы в ней можно было выглядывать в парк. По руинам струились воды, стекающие с верхней террасы. Позже, когда ударили морозы, образовались причудливые ледяные сталактиты. Из-под поперечных стен ушел грунт – его вымыло струящимися через подпорное сооружение ливневодами. Некоторые стены лежали на боку. Расчеты показали: если срочно не принять мер к спасению подпорного сооружения, оно полностью разрушится в ближайшее время. Вслед за этим опасность утраты коснется и самого дворца, стоящего на лишенном защиты склоне.



Поперечные стены подпорного сооружения, образующего террасу перед дворцом, были разрушены.



Расчеты показали: если не принять срочных мер, подпорное сооружение будет разрушено, а затем угроза утраты нависнет и над самим дворцом.

Судьбы зданий – как судьбы людей. Одним везет, других Фортуна обходит стороной. Константиновский дворец был типичным неудачником. Его задумал Петр, и начал строить Микетти, как государственную резиденцию, знак утверждения России на Балтике. Но что-то не ладилось здесь с фонтанами. И – Петр охладел к Стрельне, подарил ее дочери Елизавете, а сам увлекся Петергофом. Недостроенный дворец простоял пустым до воцарения Елизаветы Петровны. Растрелли достроил дворец, он был готов к приему двора. Но этого так и не случилось. Екатерина Великая про дворец и не вспоминала, а Император Павел подарил его сыну Константину. Так и стал называться дворец – Константиновским. Воронихин в 1803 г. полностью обновил интерьеры дворца – и в том же году случился пожар, уничтоживший все убранство. Заново дворец был отделан архитектором Руска. Но уже в 1848 г. Штакеншнейдер нашел дворец обветшавшим и занялся его ре-

конструкцией. А после революции его снова ожидало запустение. В войну дворец был сильно разрушен. В послевоенное время были восстановлены только фасады и два зала. Здесь на некоторое время разместилось Арктическое училище.

После выезда училища стали набирать силу процессы разрушения дворца. Ливнестоки, проходящие через кирпичную кладку подпорного сооружения, были забиты мусором. Вода скапливалась в них и при промерзании разрушала кирпичную кладку. Необходимо было коренным образом изменить систему водоотведения, обеспечив сток воды в сторону от дворца, минуя лоджии и гrotы. Но как спасти стены лоджий, гrotов и анфилады погребов, составляющих конструкцию подпорного сооружения, если деревянные сваи, на которые они опирались, сгнили, а кирпичные фундаменты превратились в труху?

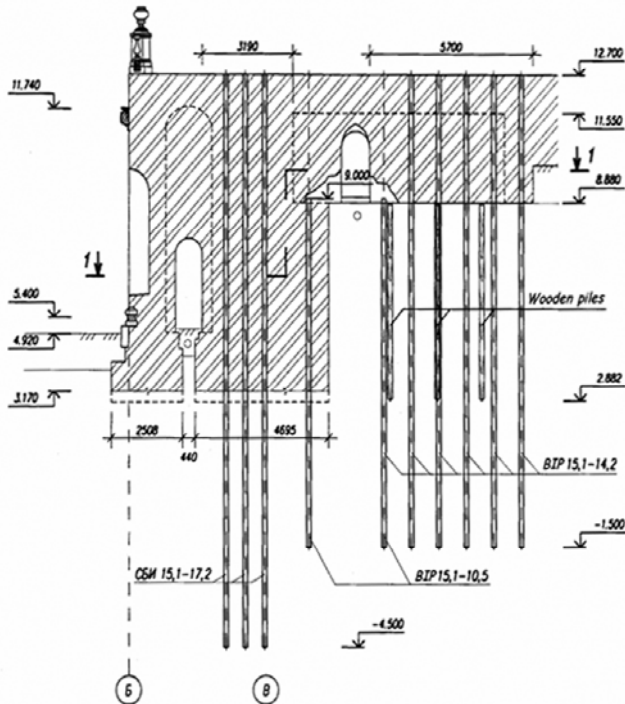
Предстояло решить еще одну задачу, необходимую для новой жизни дворца: организовать парадный вход во дворец через гrotы из Нижнего парка. Гостей, прибывающих морем и следующих далее по каналу к дворцу, должен был встречать просторный вестибюль.

Так было задумано Петром в Петергофском дворце. Здесь же существовали только низкие подвалы.

Нам удалось придумать конструкцию усиления, решающую все проблемы. По нашему проекту на террасу перед дворцом выехали буровые установки. Сначала они пробуривали кирпичную кладку подпорного сооружения маленьким диаметром – 43 мм. Через эти отверстия осуществлялось тщательное инъекционное закрепление кирпичной кладки. Затем отверстия разбуривались до диаметра 150 мм. Скважины пронизывали кирпичную кладку и уходили вглубь, до прочных отложений вендских глин. Таким образом внутри исторической кладки образовывался надежный железобетонный каркас, ниже превращающийся в сваи. На поверхности террасы головы железобетонных элементов-свай были объединены монолитной плитой, а по ней устроены система снеготаяния и гранитное мощение.

Chink N2
(Abs. mark +12.720)

Designation	Abs. mark of bottom, m	Thickness of layer, m
lg IV	9.92	2.8
УПВ 9.52	8.72	1.2
	5.02	3.7
lg III		5.5
	-0.48	
g III	-2.28	2.8
	-3.51	5.8
CmI	-5.51	2.0



Проектное решение усиления подпорных сооружений: армирующие элементы-сваи «прошивают» подпорное сооружение и передают нагрузку на прочные грунты.

Самым захватывающим для геотехника зрелищем был вид поперечных стен подпорного сооружения, откопанных на 1,5 м для прокладки инженерных коммуникаций. Массивные кирпичные стены зависли на тонких сваях усиления. Можно было заглянуть под подошву фундамента и увидеть уходящие метров на 50 в одну и другую сторону ряды свай под историческими стенами.



Все стены подпорного сооружения «зависли» на тонких сваях усиления. Под подошву фундаментов можно было заглянуть.

В зоне парадного входа потребовалось выполнить углубление на целых 5 метров, для чего была предусмотрена подпорная стенка из буровых свай.

Усиление было выполнено настолько надежно, что ни один блок кирпичной кладки не получил никаких деформаций за весь период ведения работ.

Реализованные проектные решения, базирующиеся на передовых методах расчета, научное сопровождение работ по усилению основания и фундаментов Константиновского дворца получили высокую оценку. Научный руководитель проекта В.М. Улицкий стал лауреатом Государственной премии в области науки и техники. На этом сверхскоростном объекте реконструкции было продемонстрировано единство проектного дела и науки, что и обеспечило успех дела.



Константиновский дворец после реконструкции.

Каменноостровский театр

Еще более смелый в геотехническом отношении проект был реализован на Каменном острове в Санкт-Петербурге по заказу Комитета по охране памятников под руководством В.А. Дементьевой. Это приспособление деревянного Каменноостровского театра для нужд Второй сцены БДТ им. Г.А. Товстоногова.



Каменноостровский деревянный театр. Как превратить его в самый современный театр, сохранив подлинность памятника? Ответ: всё новое можно спрятать в новом подземном этаже. Это – сложная геотехническая задача.

Театр был построен архитектором Шустовым в 1828 г. как временный для спектаклей труппы императорского театра оперы и балета. Дело в том, что к сезону не успели завершить капитальный ремонт Большого Каменного театра (того, что позже был перестроен в Консерваторию). Работы, как водится в России, немного подзатынулись. Вот и пришлось Шустову спроектировать временный деревянный театр стоимостью всего в 40 тысяч рублей золотом и построить его всего за 40 дней. Правда, на деле обошелся он казне вдвое дороже (что тоже нередко случается в России). Но театр вышел отменный, редкого изящества. Разбирать его было жалко. Лет через пятнадцать знаменитому театральному архитектору Кавосу поручили его капитально отремонтировать (Шустова не пригласили, видно, не простив удвоения сметы). Кавос обещал, что театр простоит еще 50 лет. Но он простоял 180 лет. Деревянный театр уцелел в огне революции. На него не поднялась рука в холодные дни блокады. Сегодня сохранилось только два деревянных театра в нашей стране. До 1930-х годов Каменноостровский театр использовался как склад, потом его отремонтировали и разместили в нем телевизионный театр, а позже школу-студию танца.

Новая жизнь Каменноостровского театр началась в 2006 г., когда Президент Российской Федерации в связи с 80-летием К.Ю. Лаврова передал его БДТ.

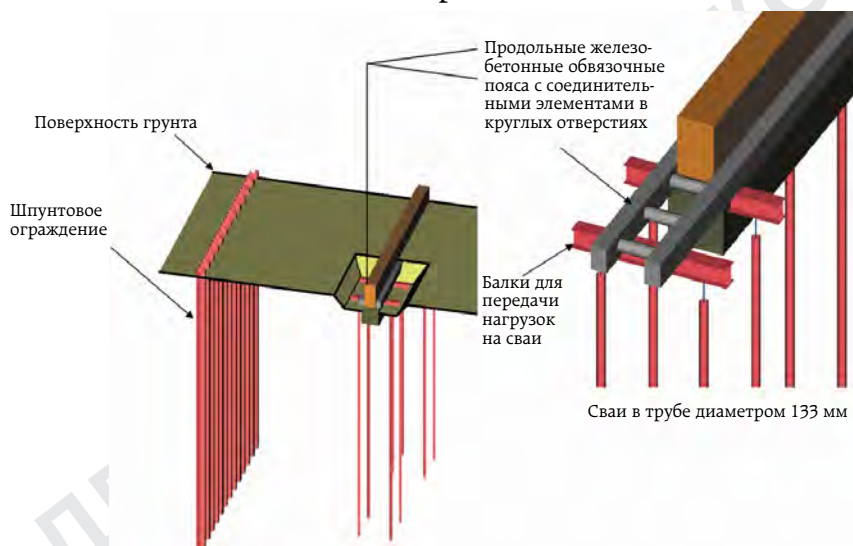
Современный театр – как айсберг: публике доступна только малая его часть. Большая же часть сокрыта от зрителей.

Там располагается сложнейшее сценическое оборудование, склады декораций и реквизита, обширное вентиляционное хозяйство, беззвучно снабжающее воздухом зрительный зал. Там расположены гримбуфные, подсобные и технические помещения.

За 180 лет изменилась и жизнь людей: у театра нас не останется ждать лакей с шубой – нужны гардеробы, нужны комфортные туалеты. Да и без кафе театр – не театр. Всего этого не было в историческом здании.

Как же примирить это, казалось бы, неразрешимое противоречие: сохранить первозданным историческое здание театра и сделать его современным?

Здесь на помощь приходит геотехника. Все новое можно спрятать под землю, чтобы оно не искажало облик памятника архитектуры. Именно такой путь реконструкции был принят Комитетом по охране памятников. Неслучайно, что генпроектировщиком стал институт «Геореконструкция», известный, прежде всего, своими геотехническими проектами.



Устройство шпунтового ограждения, буронабъекционных свай и узла передачи нагрузки от стен на сваи.

Историческое здание было пересажено на сваи «Titan» длиной 18 м. Эти сваи уникальны тем, что не провоцируют технологическую осадку здания в процессе производства работ. Для передачи нагрузки от существующих стен на сваи был придуман хитрый узел опирания. По обеим сторонам каждой стены были выполнены железобетонные балки, соединенные между собой через предварительно пробуренные в цоколе отверстия. Под обвязочным поясом устраивалось окошко, в окошке размещалась

металлическая балка, опирающаяся на пару вертикальных свай. Балки поддомкрачивались, нагрузка от стен передавалась на сваи. После этого можно разбирать ненужные уже старые фундаменты.



Армирование обвязочного пояса.



Подведение балок под обвязочный пояс и передача нагрузки на сваю.

Подземное пространство под театром выходит за контур исторического здания. По границе подземного объема был погружен усиленный металлический шпунт. Тем временем были разобраны старые бутовые фундаменты и откопан грунт для устройства под театром железобетонной плиты на относительной отметке минус 2,0 м. Эта плита – будущее перекрытие над подземным этажом. Все работы были организованы так, чтобы исключить сварку – никакого огня в деревянном здании!



Вся нагрузка передана на сваи. Старые фундаменты разобраны (фото иллюстрирует также точку зрения геотехника на архитектуру).

Комитет по охране памятников умело организовал работу замечательной команды профессионалов.

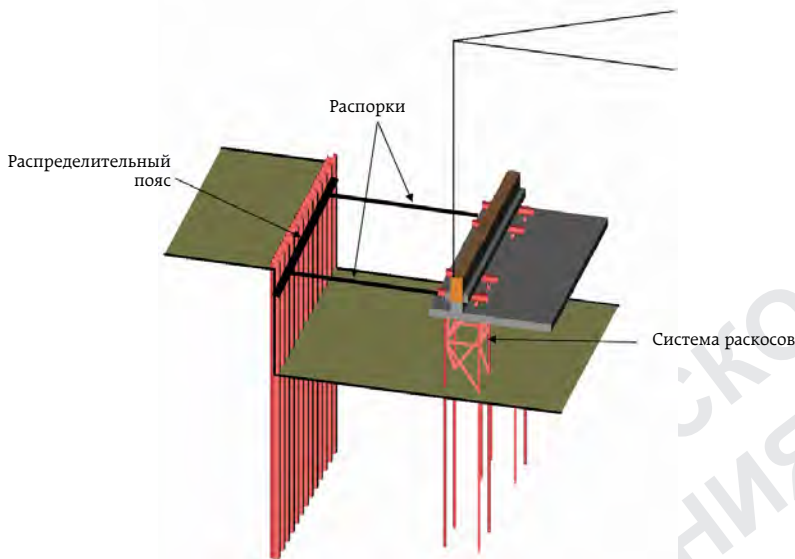
Работы по подземной части вела фирма «Геоизол». Читатель может поверить опытным проектировщикам: такой уровень профессионализма, такую культуру производства работ можно встретить далеко не на всех стройках. И все это – в сложнейших стесненных условиях. Площадку всегда можно было посещать в парадных туфлях, не опасаясь их безвременной утраты.



Устройство верхней плиты.

Реставрация деревянных конструкций, которая проводилась под научным руководством НИИ «Спецпроектреставрация» фирмой «Краски города», а на завершающей стадии фирмой «Интарсия» заслуживает отдельного рассказа, равным образом как и уникальная театральная технология, предложенная фирмой «Театрально-декорационные мастерские». Здесь же мы остановимся на геотехнической части проекта.

Итак, историческое здание теперь надежно стоит на сваях, объединенных жестким диском – плитой на отметке минус 2,0 м, а по контуру подземного сооружения погружен шпунт. По шпунту выполнен обвязочный пояс, и между ним и железобетонной плитой под театром установлены распорки из металлических труб диаметром 800 мм для исключения горизонтальных смещений шпунтового ограждения.



Откопка до проектной отметки котлована с установкой системы раскосов.

Можно приступать к откопке подземного объема. Вот тут-то и начинается самое интересное. В Петербурге строители до последнего времени не сталкивались с откопкой слабого глинистого грунта (если помните, мы его сравнивали с густым киселем). Уложенный в кузов самосвала с горкой, слабый глинистый грунт вытекает через борт, лишь только грузовик подъезжает к воротам строительной площадки. Этот грунт не хочет принимать ни одна свалка. Говорят: удалите из него воду – и привозите. Но как же воду удалить-то, если она не отжалась из грунта за 10 тысяч лет, пока он лежал в основании?

Если слабый грунт перемять, в нем может утонуть любая строительная техника. Поэтому работы по откопке подземного объема велись с величайшей осторожностью (откопку производила фирма «СЗСК»). Легкие маленькие экскаваторы аккуратно выбирали грунт в пространстве между шпунтом и зданием театра. Под самим же зданием – лес свайных опор. Там не развер-

нуться и малогабаритным экскаваторам. Поэтому даже в XXI веке не обойтись без ручного труда.



Распорные трубы установлены между верхней плитой и шпунтовым ограждением. Идет откопка подземного объема под театром и вокруг него.

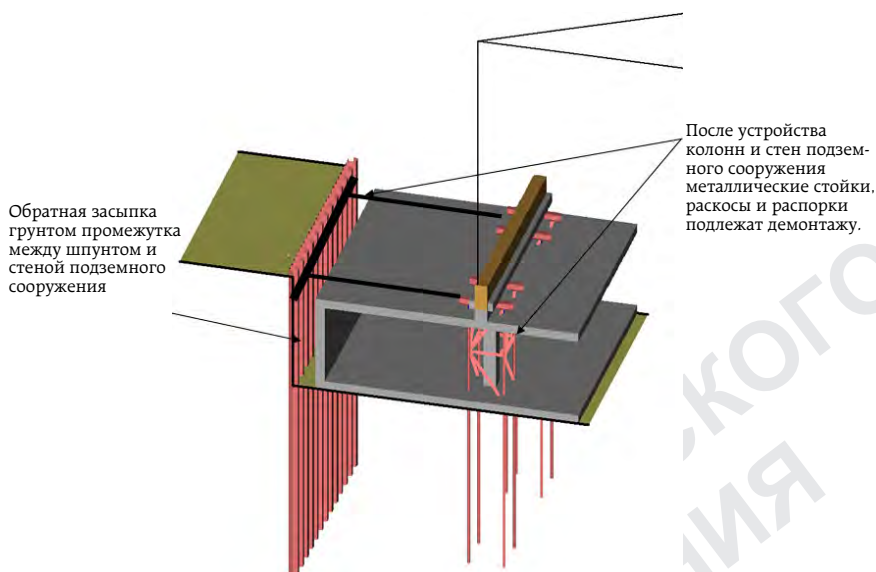
По мере откопки свайные опоры объединялись с помощью металлических раскосов в пространственные сквозные колонны (для надежного обеспечения их устойчивости).

На глубине 6,7 м была устроена железобетонная плита днища, после чего возведены наружные и внутренние стены и колонны, подпирающие плиту на отметке минус 2,0 м. Теперь можно срезать сваи в пределах подземного этажа. Они больше не нужны. Плита днища работает как свайный ростверк, а вес исторического здания передается на нее через систему колонн и стен подземного этажа.



По мере откопки сваи объединялись раскосами. На глубине 6 м устраивалась плита днища. Это первый случай применения технологии top-down в Санкт-Петербурге (генпроектировщик – «Геореконструкция», ведение геотехнических работ – «Геоизол»).





Бетонирование стен и колонн подземного сооружения.

После того, как были сняты распорки, и железобетонное перекрытие закрыло весь контур подземного сооружения, ощущение чуда (которое испытал всякий равнодушный человек, посетивший эту стройку) в какой-то мере исчезло. Посетитель театра теперь, наверное, будет думать, что все так и было: сверху уютный деревянный театр с прекрасной акустикой, а под ним – удобный подземный этаж. Авторами проекта все так и задумывалось: новое должно стать незаметным, не искажать восприятие исторического здания. Но – вернемся к стройке.

Шпунтовое ограждение отлично выполнило роль заслона от грунтовых вод. Природный уровень воды на окружающей территории изменялся только в пределах естественных сезонных колебаний.

Все работы на площадке сопровождался строжайшим инструментальным мониторингом. Контролировались параметры колебаний от работы строительной техники, осадки и крены исторического здания театра, подвижки шпунта. Особое внимание

уделялось обеспечению сохранности соседнего здания – бывшей дачи барона Клейнмихеля. Все необходимые меры в этом отношении были предприняты еще на стадии проектирования. Допустимые осадки здания были ограничены значением всего 1 см – в три раза более строгим, чем разрешенное нормами. По факту, к моменту окончания работ нулевого цикла осадки дачи не превысили 6 мм. Такой результат является лучшим свидетельством цивилизованного ведения работ. Он удовлетворяет даже самым строгим требованиям британских норм.

Реализованная нами методика устройства подземного пространства сродни известной на западе технологии «top-down» (вверх-вниз), о которой мы говорили с Вами в главе 6. Это первый успешный пример реализации данной технологии в условиях Санкт-Петербурга. В этом смысле полученный опыт трудно переоценить. Апробация и адаптация метода «top-down» на данной площадке открывает перспективу его применения для освоения подземного пространства нашего города.

Изюминкой проекта стала предложенная нами модификация метода «top-down»: вверх (top) идет реставрация, а вниз (down) – новое строительство.

Приглашаем Вас, Уважаемый Читатель, посетить это уникальное здание.

Мариинский-3

А прямо сейчас нам очень хотелось бы кратко познакомить Вас с еще одним театром, а точнее, концертным залом Мариинского театра или, как мы его называли, Мариинским-3.

Строительство его началось почти одновременно со знаменитой Мариинкой-2, когда там только начиналась откопка котлована. Правда, завершилось оно всего за год. Вот уже четыре года концертный зал на полторы тысячи мест с первоклассной акустикой встречает любителей музыки (тем временем Мариинку-2 все никак не достроят).

Залогом успеха была слаженная работа проектировщиков и подрядчиков, умело организованная руководством Мариинского театра.

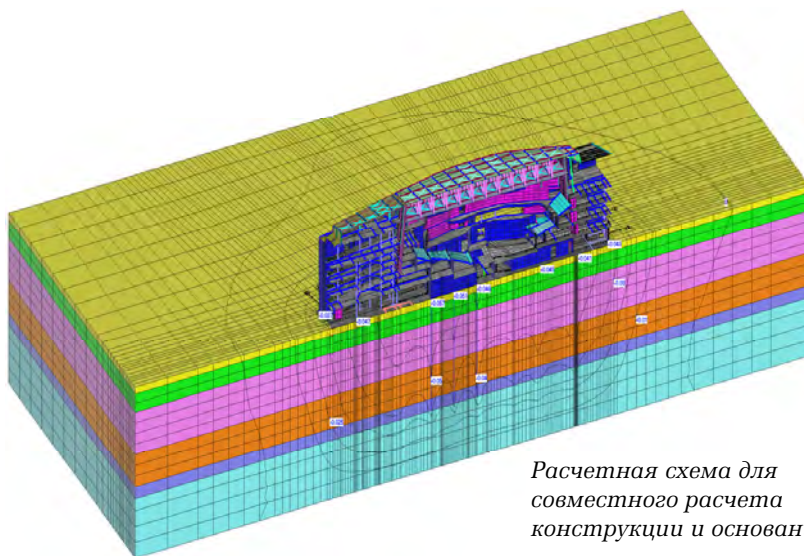
Когда сгорели декорационные мастерские, маэстро Гергиев принял решение построить на их месте концертный зал, бережно сохранив исторические фасады архитектора Шредера со стороны ул. Писарева. Архитектурная часть проекта была поручена Кс. Фабру, автору множества удачных театральных зданий во Франции, а конструктив – институту «Геореконструкция». Акустику зала разрабатывал Тойота, известный специалист из Японии. Генподрядчиком и генпроектировщиком стал «Невисс-Комплекс».

Перед Ксавье Фабром стояла очень сложная архитектурная задача: уместить самый современный концертный зал в прокрустовом ложе участка бывших декорационных мастерских.



Концертный зал Мариинского театра: сохраненные исторические стены и вид концертного зала.

Здание получилось очень компактным, а зал – просторным. По форме он напоминает овальную чашу, вписанную в вытянутый шестигранник наружных стен. Три из них, образующие букву «П» со стороны ул. Писарева – исторические стены архитектора Шредера, полностью сохранившие свой архитектурный облик. Специалистам «Геореконструкции» пришлось решать проблемы обеспечения совместной работы старых и новых конструкций.



Расчетная схема для
совместного расчета
конструкции и основания

Горизонтальные напряжения (кПа)



Сравнение раздельного расчета («на жестком столе») и совместного с
основанием.

Это возможно только при учете взаимодействия надземных конструкций здания, его фундаментов и грунтового основания. «Геореконструкция» специализируется на решении таких задач, самых сложных в проектном деле.

В среде специалистов Концертный зал Мариинского театра стал хрестоматийным примером необходимости таких расчетов. В самом деле, если действовать «по старинке» – расчетную схему здания поставить на «жесткий стол», или даже попытаться смоделировать пружинками наличие грунтового основания – нас будет ждать полное фиаско. Реальные усилия в конструкциях здания будут иметь диаметрально противоположные значения. Там, где ожидалось сжатие – в действительности имеет место растяжение, а где растяжение – там на самом деле сжатие. Реальную картину усилий можно получить только с помощью совместного расчета здания и основания. При этом основание предпочтительнее рассматривать в нелинейной постановке. Такие возможности сегодня дает программный комплекс *FEM models*, разработанный и применяемый специалистами «Геореконструкции».

Приятно, что достижения в области совместных расчетов были отмечены международной геотехнической общественностью. Сегодня авторы этой книжки возглавляют Технический комитет №207 «Взаимодействие зданий и оснований» Международного общества геотехников ISSMGE.

Глава 23. Экскурсия третья. Для любителей экстремальных видов сооружений. Самое высокое и самое глубокое.

Не все объекты нашей третьей экскурсии появились на свет. Тем не менее, кое-что для их рождения уже предпринято.

Невский небоскреб

Мы не будем называть адрес и точное название этого сооружения. Всякие ассоциации с действительностью просим считать случайными. Скажем так, речь пойдет об одном из 400-метровых зданий, которое планируется построить в нашем городе.

Петербург имеет славную историю высотного строительства. Отважный Доменико Трезини в 1710 г. построил колокольню в Петропавловской крепости со шпилем высотой 124 м. И по сей день это самое высокое архитектурное сооружение нашего города. Растрелли не смог превзойти этот высотный рекорд. Колокольня Смольного собора должна была, по мысли императрицы Елизаветы Петровны, возвыситься над колокольной Ивана Великого вместе с Кремлевским холмом (считая от уровня воды в Москве-реке). Но – «по слабости грунтов» – от этого дерзновенного замысла пришлось отказаться. С некоторыми досадными промашками в центре Петербурга и сегодня стремятся соблюдать императорский указ: гражданские здания не должны быть выше карниза Зимнего дворца.

О существовании этого указа фирма «Зингер» узнала уже после того, как купила в 1900-м году за миллион рублей золотом маленький участок земли на углу Невского пр. и Екатерининского канала. Мечтам о кирпичном небоскребе а-la Чикаго не суждено было осуществиться. Удалось устроить лишь небольшую башенку, которая «имя Зингера возносит». Сегодня мало кто догадывается, что нынешний Дом Книги – это укороченный американский небоскреб. В его кирпичных простенках замурован металлический остов, точь – в точь как у американских собратьев.

Мы обнаружили это, когда занимались обследованием здания. Надо сказать, что идея металлокирпичных небоскребов быстро исчерпала себя: слишком велик был вес конструкций такого здания. Высотное строительство в Северной Америке пошло по пути применения металлического каркаса и железобетонных конструкций.



*«Дом Книги» на углу Невского пр.
и канала Грибоедова – несостоявшийся небоскреб.*

Забавно, что эта устаревшая уже в XIX веке идея вдруг возродилась в нашем городе в начале XXI в. В новостройках появились 25-этажные кирпичные небоскребы. По-сути, это тоже, что и 9-этажная бревенчатая изба. Построить, конечно, можно, но – зачем?



Металлокирпичные конструкции «Дома Книги».

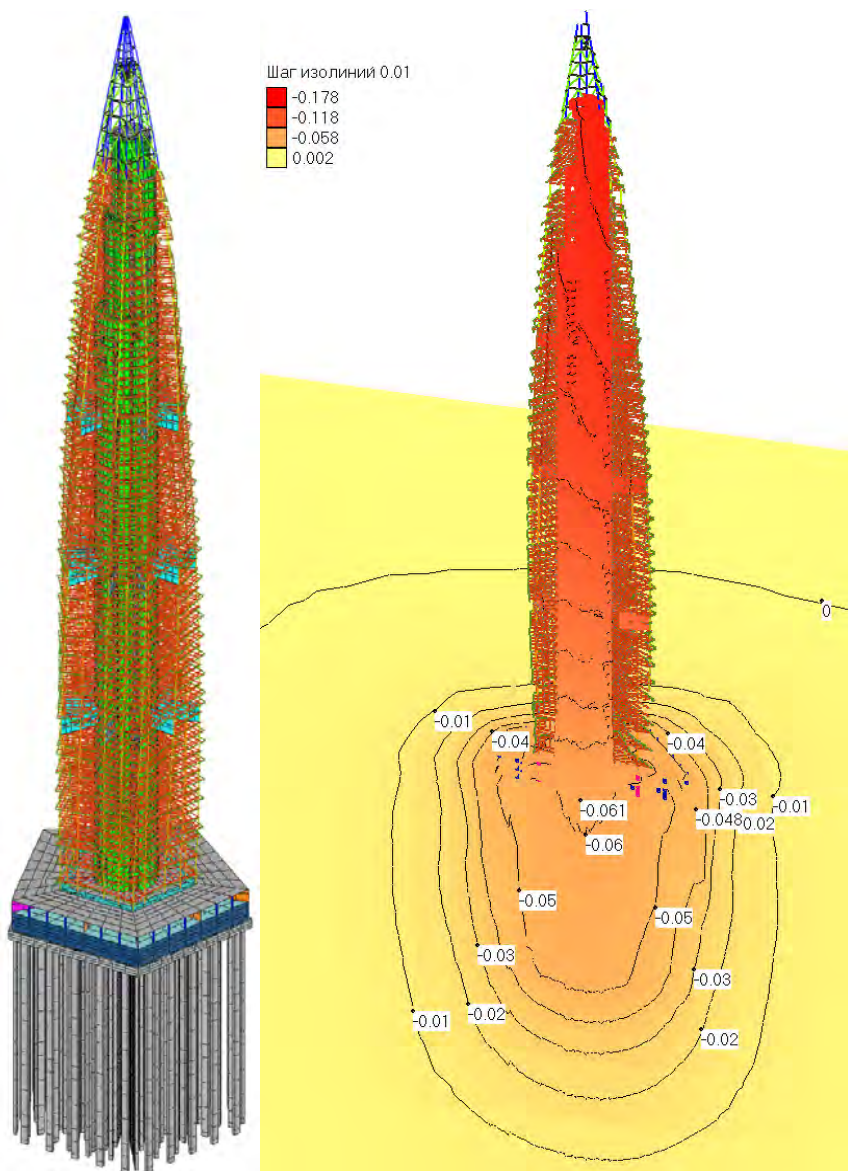
Так почему же всё-таки за 300-летнюю историю в нашем городе не появились по-настоящему высотные здания? Ответ прост: сложны грунты. Для становления высотного строительства в нашем городе следовало, прежде всего, преодолеть иллюзию о том, что 30-этажное здание – это три десятиэтажки, стоящие друг на друге.

Повышение этажности приводит не только к количественным, но и качественным изменениям принципов проектирования. Любой небоскреб должен иметь единое на всю высоту ядро жесткости, весьма внушительные колонны по периферии и занимающие целый этаж фермы, соединяющие ядро с колоннами через десяток этажей. Поэтому все небоскребы так похожи друг на друга. Архитектору там, собственно, негде развернуться. Основные решения диктует гравитация и послушные ей конструктор, да геотехник.

Конечно, не все архитекторы соглашались с таким подчиненным положением. На одном из архитектурных конкурсов по высотному строительству было предложено несколько архитектурных идей, не осуществимых в условиях гравитации, и даже один плоский небоскреб, способный создать такие завихрения ветра, что не только люди, но и автомобили парили бы в воздухе вокруг него. Лишь один конкурсант предложил реалистическое решение башни и тем самым обеспечил себе победу в конкурсе.

Мы не хотели бы обсуждать тему сохранения небесной линии нашего города. Пусть о ней говорят соответствующие специалисты. Мы же поговорим о грунтах. Ведь небоскреб – он и в Африке небоскреб. Особенности его проектирования и строительства диктуют местные грунтовые условия.

В Петербурге, за исключением его самых южных окраин, не достать свайными опорами до скалы. Опирается приходится на то, что есть. Лучшее из этого – протерозойские отложения. Но и они не всегда способны выдержать нагрузку от небоскреба, если не применить хитрость. Если под небоскребом устроить развитое подземное пространство, то нагрузку на основание можно уменьшить за счет веса вынутаго грунта. Таким образом, строительство небоскребов в питерских грунтах прямо зависит от возможности устройства развитого подземного объема. Правда, подземный объем будет не очень удобен: в нем придется сделать множество жестких стен, мешающих размещению автомобилей и технических помещений. Именно такая идея была предложена нами для небоскреба на берегах Невы. Нами были выполнены уникальные, не имеющие сегодня аналогов расчеты взаимодействия основания и конструкций высотного здания. Была самым скупуплезным образом собрана расчетная схема здания, которое не имеет ни одного повторяющегося этажа. Было тщательно промоделировано свайное основание, состоящее из прямоугольных свай-баррет, рассмотрена нелинейная работа грунта основания, рассчитано развитие деформаций во времени.



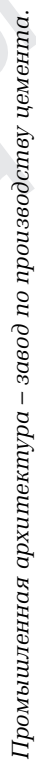
Расчетная схема высотного здания и изолинии осадок (м) по расчету с учетом нелинейной работы основания и взаимодействия грунта и конструкций здания.

Расчеты со всей убедительностью показывают, что строительство такого небоскреба в нашем городе вполне осуществимо. При этом, правда, придется немало потратиться на фундаменты.

Следует предупредить инвестора, что любой небоскреб на любых грунтах – дело заведомо невыгодное. Тем более, на слабых грунтах. Появление небоскребов всегда было свидетельством амбиций их владельцев. Сегодня, когда технология строительства небоскребов во всем мире стала обыденностью, такое выражение амбиций становится, как минимум, неоригинальным. Куда более амбициозным выглядит сегодня Летний сад с итальянской скульптурой и скромным, но изящным Летним дворцом. Противников высотного строительства в Петербурге можем утешить следующей статистикой. За последние 5 лет нами сделаны расчеты полутора десятков зданий высотой более 100 м. Пока строительство ни одного из них даже не началось.

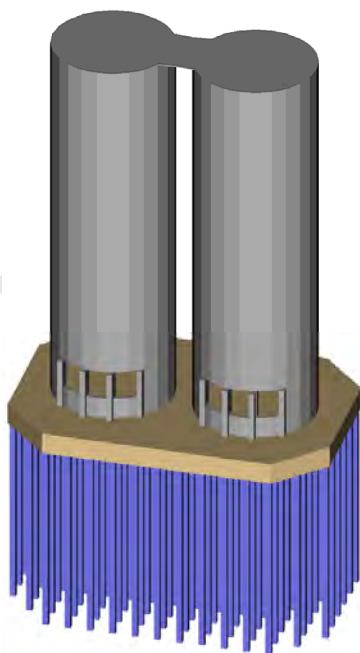
Завод по производству цемента

У читателя, которому хватило терпения прочесть нашу книжку, должно сложиться впечатление, что авторы и коллектив института «Геореконструкция» специализируются исключительно на строительстве гражданских зданий и сооружений в городах. Это не совсем так. Не менее любимым направлением деятельности большинства наших многоопытных сотрудников-проектировщиков является промышленное строительство. Наши сотрудники спроектировали множество знаменитых промышленных объектов в нашей стране. Среди них – почти весь Череповецкий металлургический комбинат, Братский целлюлозно-бумажный комбинат и др. В 90-е годы они спроектировали пивоваренные заводы «Балтика» и «Вена» (другой промышленности в это время не строилось).



На излете строительного бума и в кризисные времена снова оказались востребованными наши знания в области промышленного архитектурно-строительного проектирования. Нами сегодня спроектированы несколько нефтеперерабатывающих предприятий, пять весьма крупных заводов по производству цемента, выполнен проект реконструкции Братского целлюлозно-бумажного комбината.

В промышленном проектировании есть своя прелесть: нет ничего более сложного, чем проектирование промышленных предприятий. Здесь почти не осталось конкурентов. И еще: развитие промышленности вселяет некоторые надежды на становление нашей страны как индустриальной, а не только сырьевой державы. Приятно к этому быть причастными.



Расчетная схема конструкций силосов и возведенные конструкции промышленного небоскреба: 130-метрового «холодного конца печи» и силосов высотой 80 м.

Завод по производству цемента может поразить воображение огромностью технологических сооружений. Вот небоскреб высотой 130 м. На его вершину подается сырье, в нем происходит его подготовка и оно отсюда поступает в печь. Этот небоскреб имеет забавное название: холодный конец печи. В нем не так велики гравитационные нагрузки, как значительны ветровые.

После спекания в печи образуется клинкер, который поступает на склад. Он представляет собой «чашечку» диаметром 75 м и высотой 25 м. Клинкер насыпан туда с горкой до 50 м. Давление от такой «чашечки» на грунт достигает 80 т/м^2 , как от солидного небоскреба.



Клинкер со склада поступает на мельницы, дробится, смешивается с различными добавками и поступает в силос, который представляет собой две башни-близнеца высотой 80 м и диаметром 22 м. Под башни заезжает железнодорожный и автомобильный транспорт для загрузки. Разгружаются башни с помощью пневматики. Есть специальные каналы истечения. Из-за этого на

кольцевую в плане стенку силоса действуют не только растягивающие, но и изгибающие усилия. Такую конструкцию можно выполнить только из преднапряженного железобетона. Силос – это «подпрыгивающий» небоскреб: он то полон, то пуст. Не так просто спроектировать фундамент под такую переменную нагрузку.



Склад клинкера: купол диаметром 100 м.

Технология завода – весьма современна. Это так называемый сухой способ производства цемента. Завод выстроен в одну технологическую линию, позволяющую производить 6 тысяч тонн клинкера в сутки или более 2 миллионов тонн цемента в год. При использовании старой технологии – мокрого способа – производительность одной линии была втрое меньше. Сухой способ позволяет экономить энергию, и поэтому себестоимость цемента ниже.

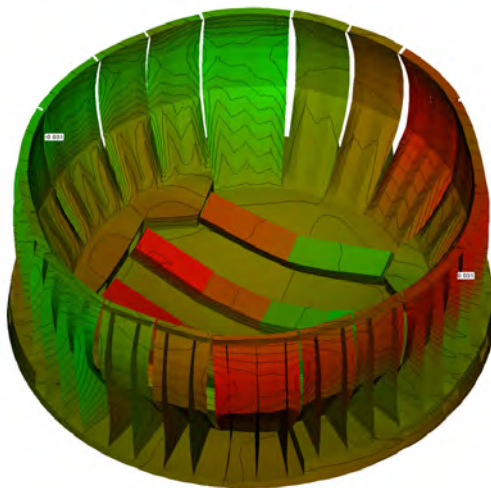
Один завод строится сегодня по нашим чертежам в Мордовии, три других – под Новороссийском, и один – недалеко от Волгограда.

В Мордовии мы столкнулись с весьма экзотическими грунтами. Многометровую толщу с поверхности слагают суглинки с очень низкой плотностью (16 т/м^3), полностью насыщенные водой, но обладающие довольно высокой твердостью. Родной питерский суглинок представляет собой кисель уже при плотности 19 т/м^3 . В чем же секрет этих грунтов? Возможно ли их хрупкое разрушение, потеря структурной прочности? Возможна ли провальная осадка зданий на этих грунтах? Как всегда, на помощь нам в таких ситуациях приходит профессор Р.Э. Дашко из Горного института. Нет таких грунтов на свете, нет таких геологических процессов, по которым она не могла бы дать самую компетентную консультацию.

Надо сказать, что мы уже давно перестали слепо доверять изыскателям. Слишком высока ответственность проектировщика. Поэтому вполне уместен принцип: доверяя – проверяй! Геологические изыскания на наших объектах проводятся только по разработанному нами заданию, поскольку мы, геотехники, знаем, какие параметры грунтовых свойств понадобятся нам для расчетов. Мы всегда направляем опытного специалиста (спасибо питомцам Р.Э. Дашко!) для контроля за изысканиями.

Оказалось, что загадочный легкий суглинок – это опоки, образованные минеральными частицами с очень низкой плотностью. Эти грунты не обладают просадочными свойствами, но и не способны воспринять значительные нагрузки. Под ними залегают черные глины, обязанные своей чернотой природному битуму. Они вроде бы твердые, но благодаря битумной «смазке» легко сдвигаются (модуль сдвига их невелик). Вот и строй на таких грунтах!

Самое тяжелое сооружение – склад клинкера – мы посадили на сваи длиной 45 м, опирающиеся на черные глины. Конструкция «чашечки» была выполнена столь хитроумно, что позволяла претерпевать практически любые осадки без опасности повреждения. Но осадки лимитировали подходящие к складу технологические галереи: от излишних осадок может нарушиться технологический процесс.



Этот «цветок» – склад клинкера диаметром 75 м и высотой 25 м. В него насыпается клинкер с «горкой» высотой до 50 м. На рисунке изображена деформированная схема (масштаб деформаций сильно увеличен).

Небоскреб высотой 130 м (холодный конец печи) был спроектирован на ребристой плите с высотой ребра 6 м (толщина плиты между ребрами 1,5 м). В очень близком соседстве к нему оказался 80-метровый силос (тот самый «подпрыгивающий» небоскреб). Не каждый день приходится решать задачу о том, как не допус-

тить крена легкого 130-метрового небоскреба в сторону тяжелого 80-метрового. Силос был посажен на сваи длиной 45 м и диаметром 1,2 м.

Но все сложности проектирования завода в Мордовии меркли перед проблемами Новороссийска. Казалось бы, в основании сооружений будет здесь полускальный грунт, так называемые мергели. Но площадка завода представляет собой холмистую местность с перепадами высот между соседними террасами до 20 м!



Добавьте к этому сеймику в 8 баллов, обязывающую устраивать специальные антисейсмические швы, делящие сложные в плане сооружения на простые блоки. Добавьте также сильный ветер, в три раза превышающий напор невских ветров. Но самое неприятное – полускальные мергели разбиты на блоки (кусочки) четырьмя системами трещин. Трещины могут быть волосяными или чуть больше, и заполнены глинистой смазкой. Прочность материала отдельного кусочка тут ни о чем не говорит. Всю систему следует рассматривать как крупнообломочный грунт, он

может сползать по трещинам. Инъектировать их бесполезно – мешает глинистая смазка. Вот и попробуйте поставить на оползневом склоне высотой 30 м «чашечку» с клинкером еще большей высоты. Для обеспечения устойчивости склонов и сооружений на них в условиях сейсмики пришлось спроектировать сложную систему подпорных стен нескольких типов – от простой гравитационной до изготавливаемой поярусно, сверху вниз, с раскреплением анкерами «Titan».

После такой работы гражданское здание начинает казаться чем-то уж очень нехитрым. На этом примере мы еще раз смогли убедиться в том, насколько плодотворен разработанный нами подход к совместным расчетам зданий и оснований, позволяющий с наибольшей эффективностью объединить усилия геолога, геотехника и проектировщика.

Орловский тоннель

Орловский тоннель был намечен на генеральном плане нашего города еще в 1950-х годах. На правом берегу Невы были предусмотрены широкие улицы, на левом оставлены незастроенные территории. Первые конкретные шаги по строительству тоннеля были сделаны в 2006 г., когда технологи ПСО «Система ГАЛС» и Московского Метрогипротранса разработали оригинальную концепцию. На правом берегу они планировали построить стартовую шахту, в которую предполагалось погрузить проходческий щит. Под защитой бентонитового раствора щит должен был пройти первый тоннель, выйти на левый берег, развернуться и пойти обратно, создавая второй тоннель. Институту «Геореконструкция» было поручено спроектировать разворотную камеру и рампу (въезд-выезд тоннеля) на левом берегу Невы. Разворотная камера проходческого щита по технологическим соображениям имеет размеры в плане 67×50 м и глубину 30 м. В такой котлован можно целиком «погрузить» обычный 10-этажный жилой дом, и даже крыша не будет видна! Котлованов такой глубины в Петер-

бурге до этого времени не только никогда не строилось, но даже не проектировалось.

К счастью, геология площадки оказалась совершенно нетипичной для Петербурга: на два-три десятка метров от поверхности здесь залегают пески. Недаром в старину этот район так и называли: «Пески». В таких геологических условиях хорошо апробированы современные западные геотехнологии – такие как «стена в грунте», jet grouting. Но у каждой медали есть и обратная сторона: пески являются сильно фильтрующим грунтом. Строительство котлована в песчаных грунтах, да еще на самом берегу Невы, возможно лишь при создании водонепроницаемого ограждения и днища. Ограничить водоприток в котлован можно двумя способами. Первый заключается в устройстве вертикального ограждения, прорезающего слой песка и достигающего слабофильтрующих глинистых грунтов. Второй – в изготовлении на некоторой глубине искусственного водоупора по струйной технологии (jet grouting). В этом случае вертикальное ограждение может оканчиваться чуть ниже этого закрепленного слоя. Однако здесь строители становятся заложниками качества изготовления искусственного водоупора. Наличие любой «дырки» в нем поставит под вопрос саму возможность откопки котлована. Второй проблемой является необходимость восприятия этим слоем давления воды снизу, ведь он не обладает прочностью на изгиб. Следовательно, нужен массив закрепленного грунта толщиной не меньше 2 м, пригруженный от всплытия слоем грунта толщиной более 6...7 м. Нехитрый подсчет требуемых глубин уничтожает нашу надежду на снижение длины вертикального ограждения котлована при применении этого способа. Он оказывается менее надежным и более дорогостоящим по сравнению с первым.

Итак, необходимо устроить ограждения котлована до глинистых грунтов. Шпунт на требуемую глубину в 40-45 м не погружать. Стенка из секущихся или касательных буровых свай всегда подобна решетке. Причем щели между сваями могут быть и ниже дна котлована, где их найти и загерметизировать невозможно.

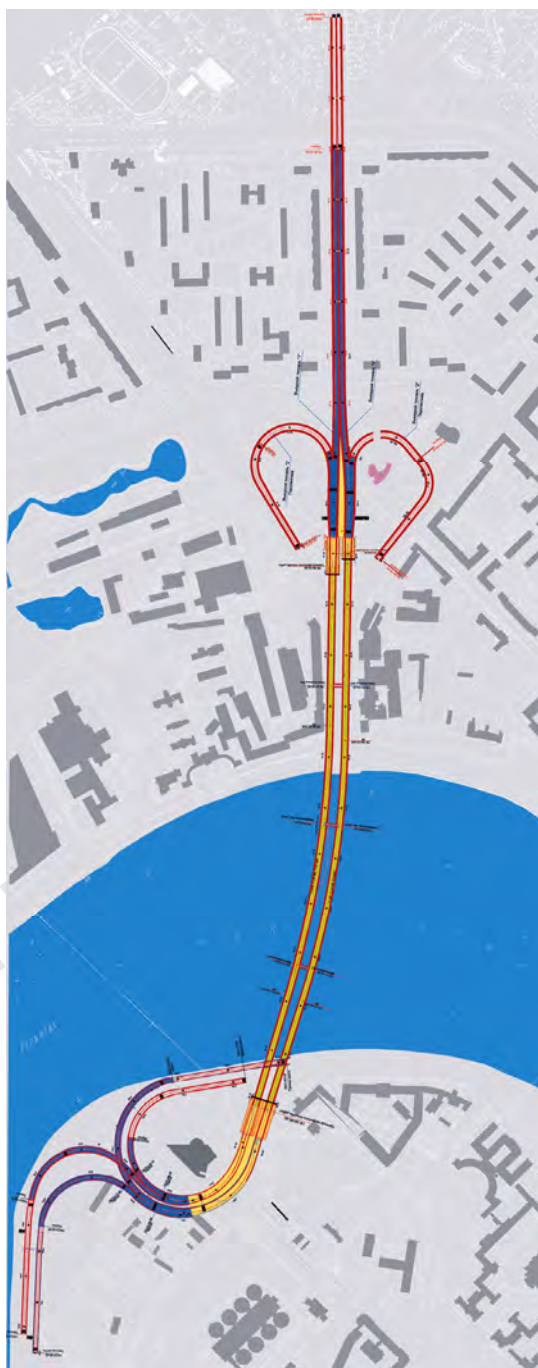
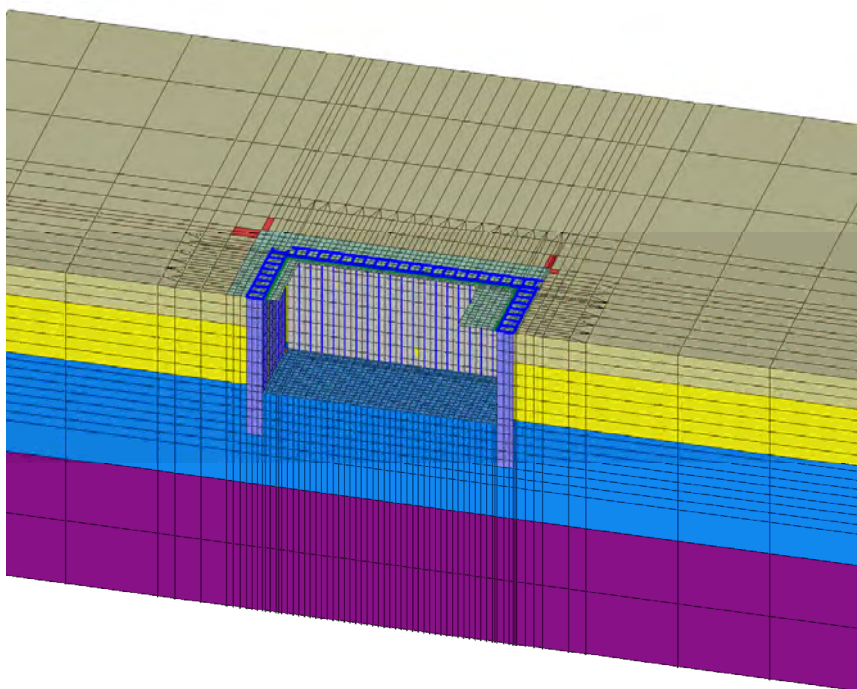


Схема Орловского
тоннеля

Поэтому выбор геотехнологий здесь невелик: стена в грунте и только.

Но как обеспечить устойчивость ограждения котлована глубиной 30 м?

Устраивать распорку здесь очень невыгодно. Их нужно ставить с шагом 5×5 м, под них придется подводить свайные опоры. Очевидно, что в этом нагромождении распорок развернуть проходческий щит не удастся. Придется внутри городить дополнительную обделку, воспринимающую горизонтальное давление грунта. Получается двойная, долгая и трудоемкая работа. Может быть, вместо распорок использовать грунтовые анкеры? В песчаных грунтах они могут быть весьма эффективными. Но в зоне, где предусмотрен вход и выход проходческого щита, устраивать анкеры нельзя, они станут непреодолимым препятствием для проходки тоннеля. Поэтому остается единственный вариант: устройство ограждения разворотной камеры с одной распоркой поверху. Такой распоркой может служить мощная обвязочная балка сечением шириной 15 м и высотой 3 м. Ограждающая стенка должна иметь глубину 44 м. Ровно посередине ее глубины в ней возникают колоссальные усилия – 4000 тм. Чтобы их воспринять, стену в грунте пришлось выполнить двутаврового сечения. Такую форму изготовить совсем не просто: при малейшем нарушении технологии грунт в углах двутавра будет осыпаться внутрь проходки. Но такая конструкция ограждения обладает чрезвычайно высокой жесткостью, что делает ее весьма перспективной для Петербурга. Поэтому фирмой «Геоизол» и «Franki» (Бельгия) при научном сопровождении авторов этой книжки было проведено апробирование устройства стены в грунте сложного сечения на нескольких опытных площадках в Петербурге (об этом мы рассказали в главе 13), в том числе на двух участках левобережной рамповой части Орловского тоннеля.



Расчетная схема котлована размером в плане 67×50 м и глубиной 30 м (разрез). В качестве ограждения используется стена в грунте из захваток двутаврового сечения, создающая очень жесткую коробчатую структуру толщиной 6,6 м. В качестве распорной системы используется мощная обвязка поверху.

При проектировании ограждения котлована разворотной камеры было очень важно определить, как будут развиваться его горизонтальные смещения во времени. Единственным расчетным инструментом здесь является разработанная нами упруго-вязко-пластическая модель, входящая в библиотеку моделей программы *FEM models*. Согласно расчетам, выполненным в пространственной постановке, за год после откопки котлована перемещение его ограждения может достигнуть 10 см. Если работы затянутся, то горизонтальные смещения будут увеличиваться. Поэтому необходимо ограничить срок производства работ одним годом.



Первый в Петербурге удачный опыт устройства котлована под защитой стены в грунте на строительстве участков Орловского тоннеля.

Разработанный институтом «Геореконструкция» проект устройства левобережной части Орловского тоннеля получил высокую оценку специалистов и экспертов Главгосэкспертизы России. Два его опытных участка сегодня уже успешно построены. Технические проблемы нами решены. Успешно решены также все проектные проблемы строительства самого тоннеля (ПСО «Система ГАЛС и Метрогипротранс, Москва) и правобережной части (Ленметрогипротранс). Осталось дело за малым – построить тоннель.

Послесловие

Уважаемый читатель, мы попытались рассказать Вам о геотехнике ясно и доходчиво, избегая научных сложностей и ложной простоты. Мы поделились с Вами нашим многолетним опытом и дали некоторые советы, стремясь не впасть в назидательность. Мы надеемся, что это книжка поможет Вам правильно сориентироваться в геотехнике. Некоторые говорят: грунты – это дело темное! Мы с ними не согласны. Так говорят невежды. Геотехника – это точная наука. Важно только, чтобы в её жернова попадали зерна, а не плевелы. И эта книжка – Ваш путеводитель по геотехнике.

Если Вы, уважаемый читатель, созидатель, если Вы стремитесь к тому, чтобы построенные Вами здания простояли сто лет – перечитывайте эту книжку.

Авторы проводят множество международных конференций и семинаров по геотехнике. На них можно познакомиться с достижениями самых крупных специалистов мира. Это позволяет нам все время находиться на передовой научно-технического прогресса. Приглашаем Вас на конференции и семинары, приглашаем к взаимовыгодному сотрудничеству.



Улицкий Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» Петербургского Государственного Университета Путей Сообщения, научный руководитель института «Геореконструкция», лауреат государственной премии Российской Федерации в области науки и техники (за восстановление Константиновского дворца), заместитель председателя Санкт-Петербургской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям (ГЭКК ОФиПС), председатель Северо-западного отделения и член президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГТиФ), председатель международного Технического комитета №207 «Взаимодействие зданий и оснований» всемирной ассоциации геотехников ISSMGE, член Технического комитета №19 «Сохранение исторических городов и памятников» Федерации международных геотехнических обществ FedIGS.



Шашкин Алексей Георгиевич – кандидат технических наук, генеральный директор института «Геореконструкция», член президиума РОМГТиФ, член ГЭКК ОФиПС, руководитель Петербургского филиала СРО АИИС.



Шашкин Константин Георгиевич – кандидат технических наук, руководитель отдела сложных геотехнических расчетов института «Геореконструкция», член международного Технического комитета №207 «Взаимодействие зданий и оснований» ISSMGE, автор программы *FEM models*.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ко второму изданию	3
Введение, из которого читатель узнает, зачем ему нужна эта книга	4

Часть первая: путешествие от изысканий к проектированию

Глава 1, объясняющая, что такое геотехника и нужна ли она инвестору	9
Глава 2, в которой говорится о предварительной геотехнической оценке инвестиционной привлекательности объекта строительства	14
Глава 3, посвященная геологическим изысканиям	17
Глава 4 – о пользе строительных норм	28
Глава 5 – как будем строить: по закону или по понятиям?	34
Глава 6 – о геотехническом обосновании	41
Глава 7 – о проектировании	54

Часть вторая: дегустация расчетов

Глава 8. О приемах экспертных оценок расчетов и компьютерных программах	65
Глава 9. О расчетах осадок зданий	76
Глава 10. О приемах экспертной оценки корректности геотехнических расчетов	93
Глава 11. Основные эффекты, проявляющиеся при совместных расчетах оснований и конструкций зданий	99
Глава 12. Расчеты ограждений котлованов и подземных сооружений в плотной городской застройке	104

Часть третья: тур по геотехническому строительству

Глава 13 – о выборе подрядчика	109
Глава 14 – о геотехнологиях	112

Глава 15 – еще немного о геотехнологиях, но для подземного строительства	127
Глава 16 – о геотехническом мониторинге.....	146

Часть четвертая: погружение в городской андеграунд

Глава 17 – и в этой части единственная – о пользе развития подземного пространства.....	151
--	-----

Часть пятая: хождение по граблям (для любителей острых ощущений)

Глава 18. Страсти по Мариинке-2	175
Глава 19. Геотехника без геотехников	185
Глава 20. Котлован на китайско-финской границе	196

Часть шестая: тематические экскурсии по замечательным объектам

Глава 21. Экскурсия первая. Для любителей детективов. Расследование причин деформирования зданий	215
Глава 22. Экскурсия вторая. Для любителей искусства. Дворец, театр, концертный зал	242
Глава 23. Экскурсия третья. Для любителей экстремальных видов сооружений. Самое высокое и самое глубокое	262
Послесловие	279
Об авторах.....	280

Улицкий Владимир Михайлович
Шашкин Алексей Георгиевич
Шашкин Константин Георгиевич

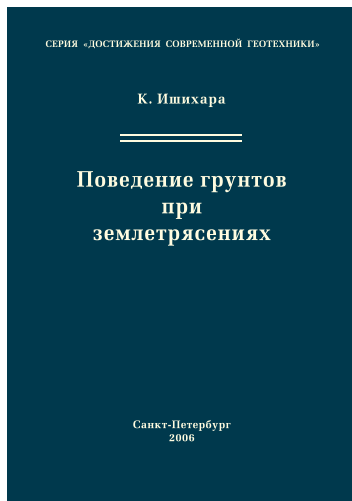
Гид по геотехнике

(путеводитель по основаниям,
фундаментам
и подземным сооружениям)

Издание второе, дополненное.

Подписано в печать 07.06.2012. Формат 50×70 $\frac{1}{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Raleigh BT.
Офсетная печать. Тираж 1 000 экз.

Изданные на русском языке книги зарубежных авторов в серии «Достижения современной геотехники»

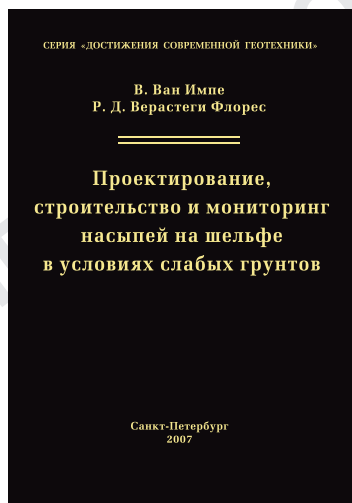


Кенджи Ишихара

**Поведение грунтов
при землетрясениях.**

Книга выдающегося японского ученого, президента Международного общества по механике грунтов и геотехнике в 1997–2001 гг., профессора Токийского университета науки К. Ишихары посвящена вопросам работы песчаных и глинистых грунтов при сейсмических нагрузках. Книга имеет практическую направленность. Приведены примеры испытаний грунтов на динамическую нагрузку в полевых и лабораторных условиях с применением современных методик и аппаратуры. Описывается механизм разжижения и текучести песчаных грунтов при землетрясениях.

Книга предназначена для специалистов-геотехников, научных работников, проектировщиков зданий и сооружений в условиях сейсмической нагрузки.



В. Ван Импе, Р.Д. Верастеги Флорес

**Проектирование, строительство
и мониторинг насыпей на шельфе
в условиях слабых грунтов.**

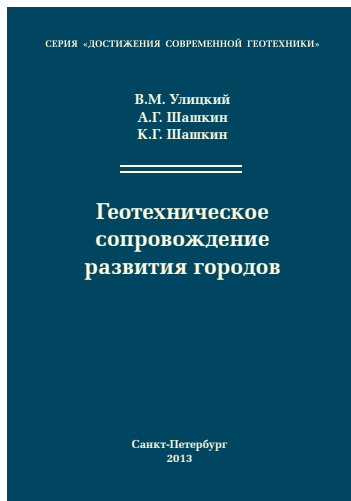
Книга известного бельгийского исследователя, ученого, президента Международного общества по механике грунтов и геотехнике (ISSMGE) в 2001–2005 гг., профессора университета г. Гент В. Ван Импе и инженера Р.Д. Верастеги Флореса посвящена вопросам проектирования, мониторинга и поведения крупных насыпей и дамб под водой. Описано применение методов улучшения слабых грунтов оснований насыпей и дамб путем глубинного перемешивания.

Книга предназначена для специалистов-геотехников, научных работников, проектировщиков зданий и сооружений в районах распространения слабых грунтов, студентов строительных вузов.

Более полную информацию о наших изданиях по геотехнике
вы можете найти по адресу:

<http://geo-bookstore.ru>

Готовятся к изданию следующие книги по геотехнике:



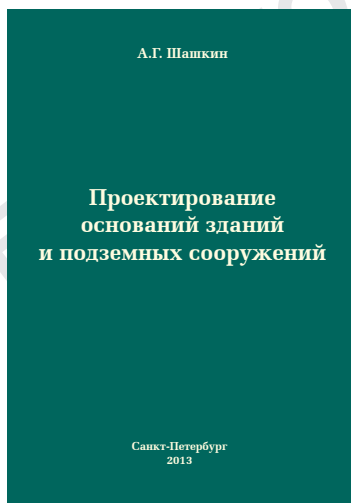
В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин

Геотехническое сопровождение развития городов.

Издание второе, дополненное.

Книга ведущих петербургских геотехников посвящена наиболее актуальным вопросам развития городов, связанным с подземным и высотным строительством, сложной реконструкцией кварталов исторической застройки. В книге изложен опыт петербургской геотехнической школы по строительству и реконструкции зданий в условиях плотной городской застройки на слабых грунтах, накопленный на протяжении двух с половиной десятилетий.

Второе издание дополнено рекомендациями по применению численных методов расчета оснований, а также расчетных моделей для учета взаимодействия оснований и сооружений.



А.Г. Шашкин

Проектирование оснований зданий и подземных сооружений (на примере Санкт-Петербурга)

Настоящая книга написана для того, чтобы предложить читателю эффективный инструмент решения задач расчета и проектирования зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки на слабых глинистых грунтах, базирующийся на подходах, выработанных отечественной школой механики грунтов и инженерной геологии. Этот инструмент позволяет достичь достаточную точность расчетного прогноза поведения массива грунта в основании зданий и сооружений, включая подземные сооружения, возводимые открытым способом, что необходимо для обеспечения безопасности соседней застройки.

Более полную информацию о наших изданиях по геотехнике
вы можете найти по адресу:

<http://geo-bookstore.ru>