

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

# Гид по геотехнике

(путеводитель по основаниям,  
фундаментам  
и подземным сооружениям)

Санкт-Петербург  
2010

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. 2010. – 208 с.

**ISBN 978-5-9902005-1-7**

В книге популярно изложены основные разделы современной геотехники, науки, определяющей безопасное строительство, 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 978-5-9902005-1-7**

© 2010, ПИ «Геореконструкция»

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

### *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 полезными 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 не важно, 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. Раньше финансовые потери от управленческих ошибок не были столь ощутимы. Теперь же пришло время оптимизировать затраты 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 и наши коллеги 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*



## **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.

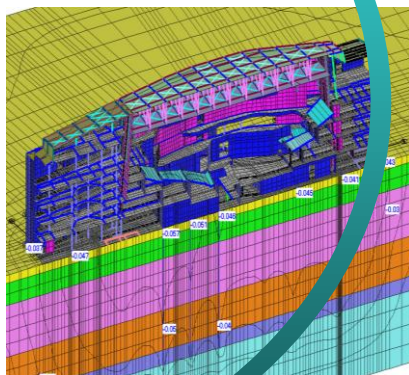
Геотехника – это область строительной деятельности, связанная с грунтами. В нашу эпоху разделения труда, когда каждую часть тела лечит специальный доктор, а больной в целом никому не интересен, геотехника представляет собой синтезирующую дисциплину. Геотехника объединяет и инженерную геологию, занимающуюся 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 назваться геотехником, чтобы быть им на самом деле.



Сориентироваться инвестору в выборе специалистов-геотехников поможет международная система, которой объединены все геотехники мира. Иерархия такова: существует Федерация международных геотехнических обществ (FedIGS), возглавляемая в настоящее время профессором Ван Импе (Бельгия, Гент).



Составной частью FedIGS является Международное общество по механике грунтов и геотехническому строительству (ISSMGE), президентом которой до 2009 г. являлся профессор Педро Секо е Пинто (Испания, Мадрид). 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 ТК38 «Взаимодействие зданий и оснований» 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 обращает-

ся 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.

**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, остерегайтесь 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 прилегают 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 предложит программу изысканий, оценит 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 неспециалисту.

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 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: « $E$ ,  $s$ ,  $\varphi$  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 механических 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.

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 содержимое 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:***

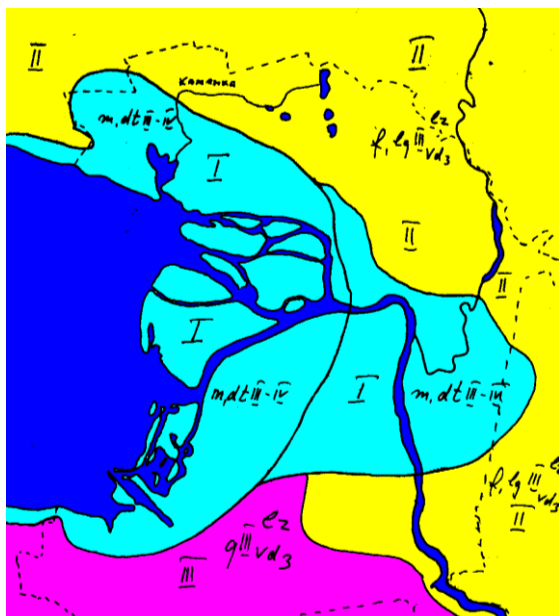
- прямые испытания для определения механических свойств грунтов;
- наличие трехосных испытаний;
- использование современных технологий статического зондирования СРТ (а под подошвой существующих фундаментов – динамического зондирования).

Объем и состав геологических изысканий должен строго соответствовать своду правил на изыскания 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 Командантского 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.



*I – область распространения слабых грунтов; II – область распространения флювиогляциальных отложений, зандров, камов и озов; III – область распространения с поверхности лужской морены (по Л.Г. Заварзину)*

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.**





*При откопке глубокого котлована, чтобы не утонуть, экскаватор ездит по разложенным по поверхности грунта трубам*

Только с глубины порядка 20м начинаются более или менее приличные грунты. Их называют мореной. Существует заблуждение, что морена – это всегда надежный грунт. К сожалению, это далеко не так. Она очень разная. Бывает, что морена мало отличается от слабых грунтов (например, на территории Васильевского острова). И к ней поэтому надо относиться с осторожностью.

По-настоящему надежные грунты в центре Петербурга можно встретить на глубинах более 30–40 м. Они называются отложениями венда или протерезойскими глинами. Именно в них построено наше метро. Местами доисторические реки прорыли долины (палеодолины) на глубину более 100 м. 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 «разрыв» на деле никаким разрывом не является и никакой подземной реки там нет. Река там была миллионы лет назад. Древнее русло заполнено очень плотными водонасы-

ценными песками, которые превращаются в плавун, если только их выпустить в тоннель.



Фрагмент карты кровли твердых глин на территории Санкт-Петербурга

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». Этому страшного слова бояться не следует. Нужно быть андерсонеvской принцессой, чтобы почувствовать наличие трещины в скальном основании через 200-метровую перину из осадочных грунтов.

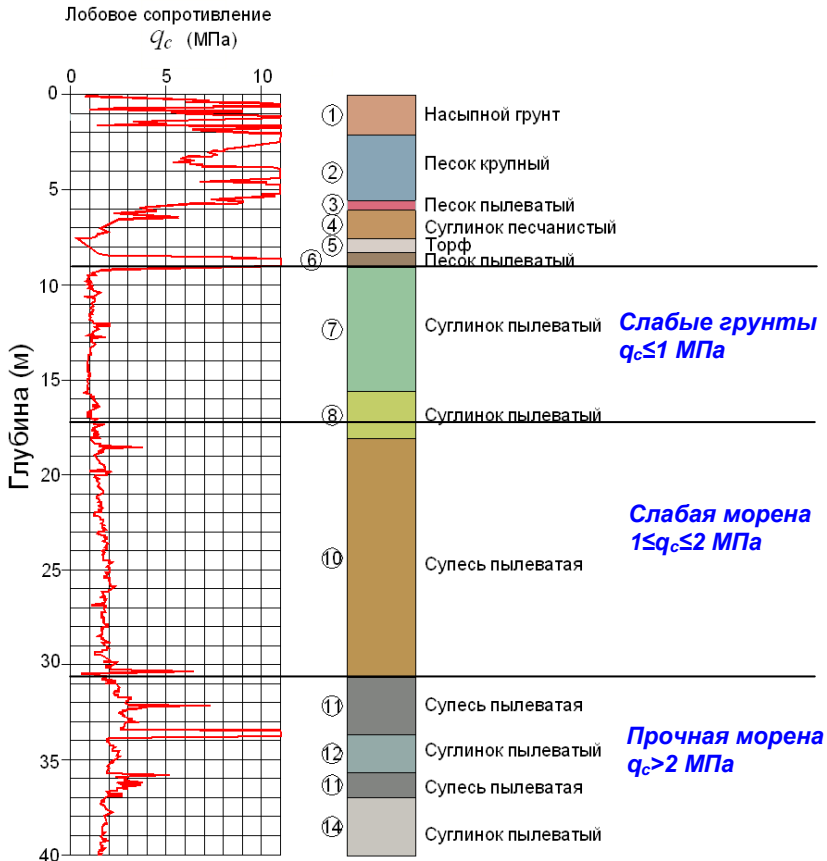
Заканчивая это краткое путешествие вглубь земли ответим, наконец, на вопрос, поставленный в его начале. Итак –



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 СРТ – 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 жирную линию – сопротивление погружению именно конуса. Если это сопротивление около 1 МПа и менее – перед нами слой слабого грунта.

Обычно это супеси и суглинки – либо 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.

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



Пример определения сложности геологических условий по данным статического зондирования (СЗТ)

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 регламентировались 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.

При этом 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 нет, то все-таки почему же вы не следовали Еврокоду?

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

Еврокодами, 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.

Наконец, самым эффективным инструментом обеспечения профессионализма в строительстве является система

подготовки специалистов и контроля за ними, принятая, например, в Великобритании.

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, который 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 известен и может привести к дисквалификации с понижением статуса или даже исключением из членов Института. В последнем случае бедолаге придется менять вид деятельности.

Когда знакомишься с намерениями реформировать системы строительных норм и ответственности в нашей стране, 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

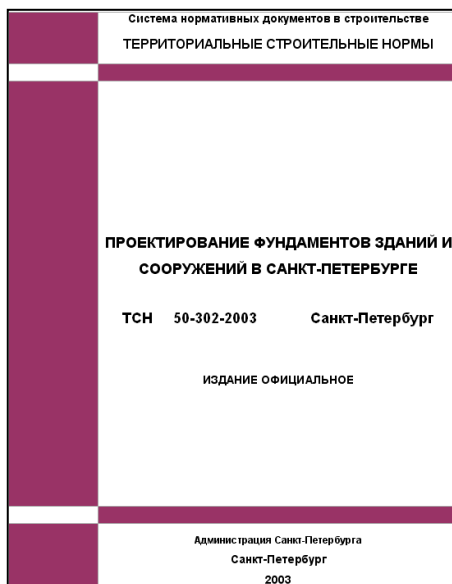
организации» (СРО), в которых объединяются (подумать только!) не менее 50 компаний. Никакие нормы, никакие технические регламенты не возникнут в этих «клубах по интересам». Ни одна чиновная структура не справится с реформированием строительных норм без профессионалов. Не надо предаваться иллюзиям, что 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. Кста-

ти, 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 регламенти-

руется 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 до-





кументации и заказчику, и государственной экспертизе, поскольку содержат ясные качественные и количественные критерии того, ЧТО надо делать исполнителю проекта.

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 Государственная 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.**

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 госэкспертизу и будет бесполезен на стройплощадке.

## Глава 5 – 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.

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 си-

туации. 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).

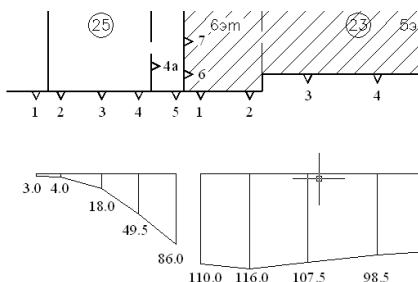
Прошли те времена, когда  
строить можно было по принципу:  
дом строим – два ломаем.

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 за-

стройки, в плотном примыкании к ней, приходится ограничивать его осадки в 5–10 раз меньшей величиной, чтобы они «не потянули» соседнюю застройку.



*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)*



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

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 спровоцирует осадки 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 фирме «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 нормы, в отличие от предшествующих, создавались для всех участников процесса.

Желающие могут выполнить собственную оценку качества «Геотехнического обоснования», руководствуясь простыми советами, изложенными во второй части книжки, в главах 6, 7. Если же Вы предпочитаете поручить эту работу экспер-

ту, 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 мелко-го 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 мелко-го заложения годятся 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.

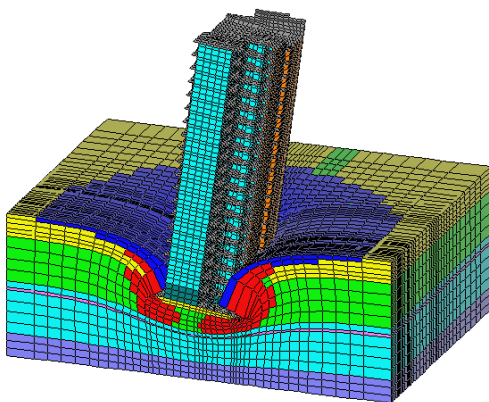
Сама по себе осадка не так страшна, как ее неравномерность. От неравномерных осадок



длинный дом начинает трещать, а точечный кренился.

*Не все геотехнические ошибки выглядят столь привлекательно.*

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 выбор фундаментов определяется осадками соседних зда-

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 12.



### ***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 сваи, исходя из ее несущей способности.

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

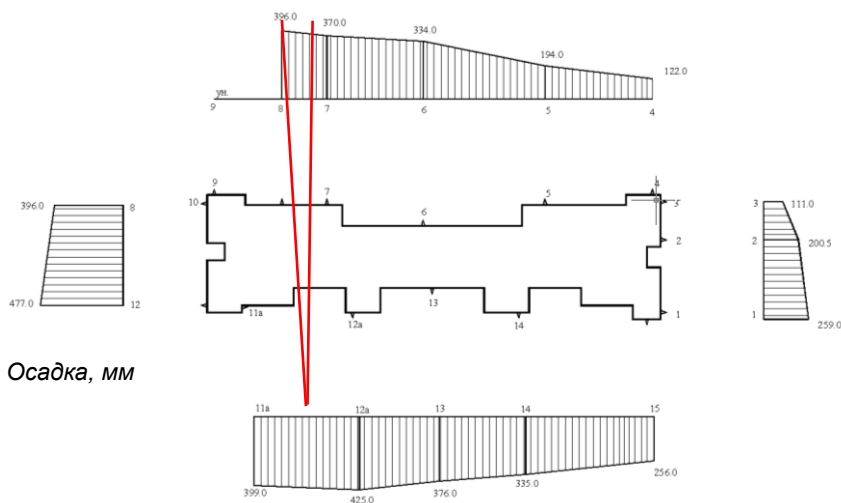
Господа! Вы же держали сваю под нагрузкой всего несколько часов, а дом будет стоять на сваях сто лет! Чувст-



вуете 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, за-  
 стопорились 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 исследова-

тели «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 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: осадки 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 недешево, но тут уже ничего не поделаешь. Такова геотехническая практика в любом регионе мира.

Шпунт можно применять, если расстояние от котлована до соседних зданий больше глубины котлована.

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.

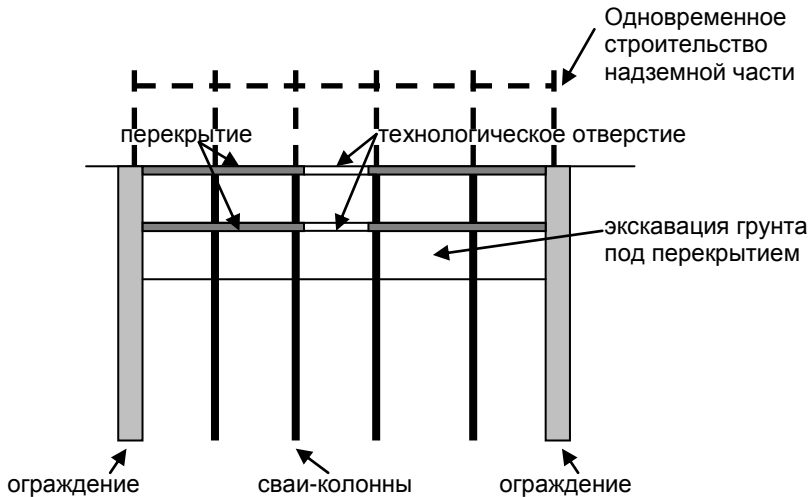
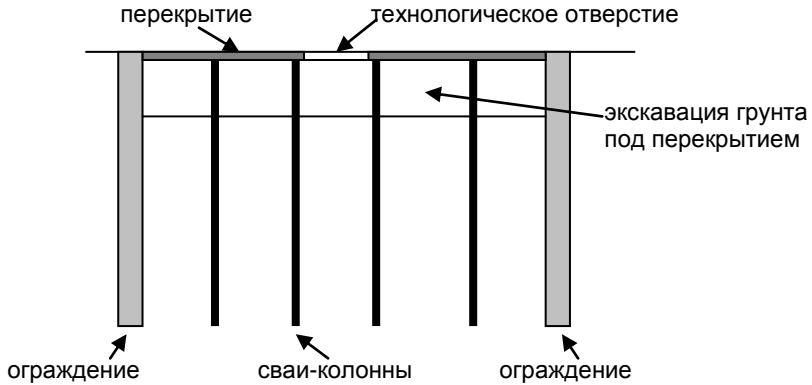
Для более глубоких котлованов шпунтовое ограждение можно применять, если расстояние от котлована до соседних зданий больше его глубины. Во всех остальных случаях следует использовать более жесткое ограждение – стену в грунте.

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 13, 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.

В Петербурге, как правило, котлован глубиной более 3...4 м неосуществим без распорных систем.

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. Остаются распорные системы, которые могут быть металлическими или железобетонными. 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 непростая. 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)*

## Глава 6 – 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 преподавать 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.

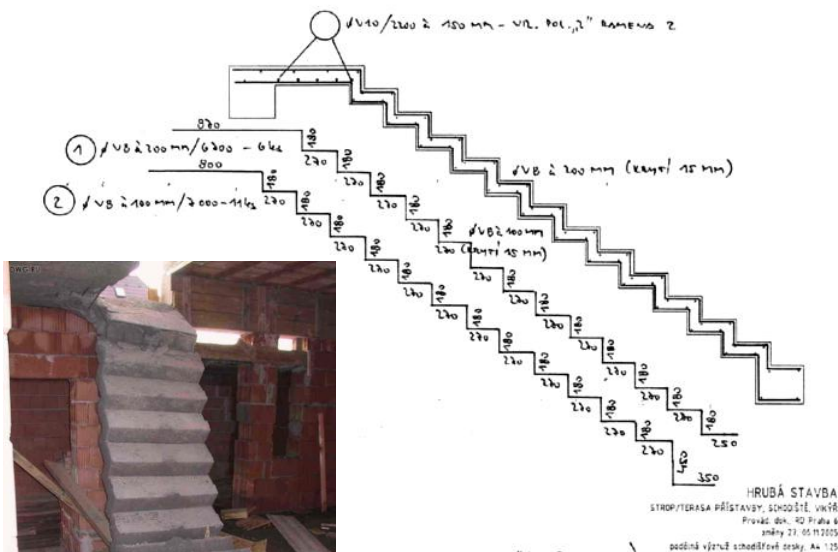
Когда-то, в далекие доперестроечные советские времена в ведущих строительных вузах страны для поступающих в

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.



...астили только бревенце, проектные 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 фирма «Геореконструкция», собравшая 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 разни-



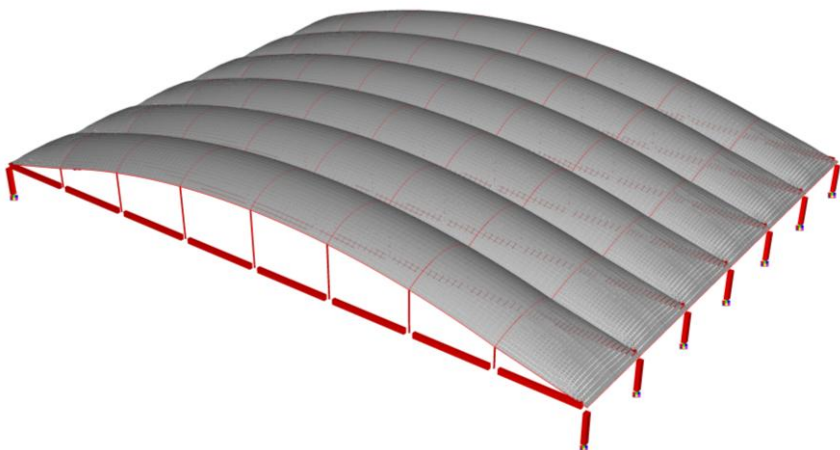
цу между подходом ученого и проектировщика. Для ученого и отрицательный результат – это результат, а не ошибка. Проектировщик же на такой результат не имеет права. Проектировщик – человек, который ставит подпись на чертеже и всю жизнь несет уголовную ответственность за правильность своих решений. Он – родитель дитяти, имя которому «ПРО-ЕКТ».

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 96м покрытия главного корпуса автобусного парка №6. Автор конструктивного решения – ныне главный конструктор компании «Геореконструкция» А.В.Шапиро стал за эту работу лауреатом государственной премии*

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 по-

верить 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 заинтересовалась 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 допущен-

ные 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, происшедшего при дефиците Настоящих Проектировщиков.



*Дом на Двинской ул.  
перед обрушением*

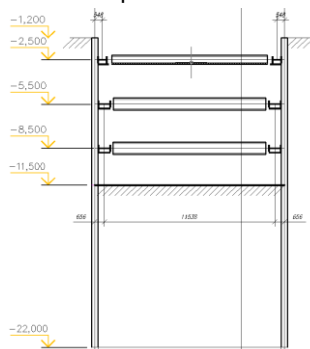
Для сложных объектов, таких как подземные объемы зданий в условиях плотной городской застройки, настоящий проектировщик обязательно предусмотрит процедуру, называемую на западе интерактивным проектированием или методом наблюдений. Этот метод позволяет решать сложные задачи, для которых не накоплен еще 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 оптимистическо-

го 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.

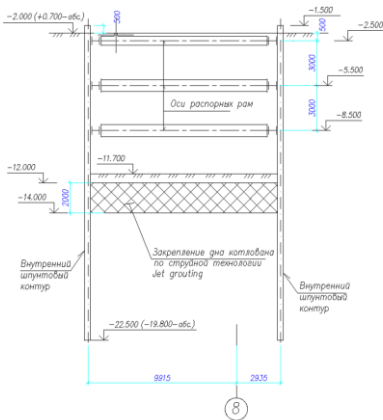
1. Базовый проект



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 старых коллег и ему не у кого учиться.

Опирается можно только на то,  
что сопротивляется.  
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. Опирайтесь только на то, что сопротивляется. Иначе провалитесь, как в болото. Таков закон сопромата. Он работает и в науке, и в бизнесе. Опирайтесь на «ватных» подчиненных – это конец любого дела.





## Часть вторая

### *дегустиация 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.



## Глава 7. 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 в программе, 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 шестнадцатипятиэтажного 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 расчетных 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 расче-

тов 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,  $10 \times 10$  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 расче-

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 непонятого 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 поразному 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 поразному 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 веса 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 рабо-

тает. 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. Реальное 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?**

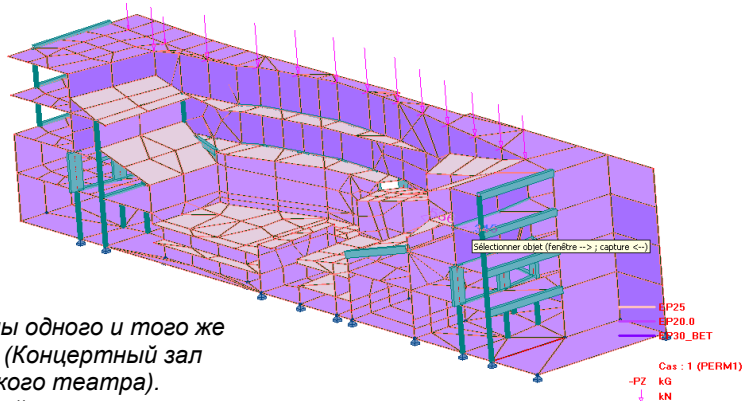
Расчетные схемы метода конечных элементов, как известно, состоят из отдельных элементиков. Для зданий это, как правило, пластины стен и перекрытий, а также стержне-

вые элементы колонн. По внешнему виду схемы можно сделать некоторые выводы.

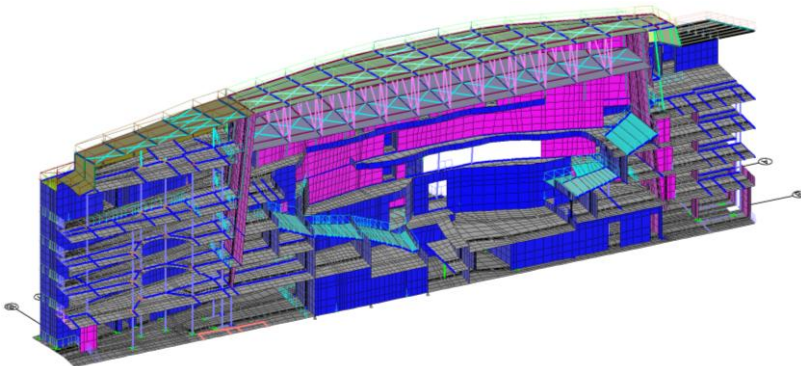
Каждая расчетная схема должна соответствовать цели расчета. Одна и та же расчетная схема может быть корректна для одной цели и некорректна для другой.

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 образом 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 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<sup>2</sup>) 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:  $15.7 \text{ см}^2$  или  $0.00157 \text{ м}^2$ . 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 8. 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

В современных нормативных документах можно 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 мед-

ленно 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** СП 50-102-2003 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, предлага-



ется 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, одинаковые величины осадок по этим методам не получаются, и инженер останется в недоумении перед рядом чисел, в разы 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 здания и основания) 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 осад-

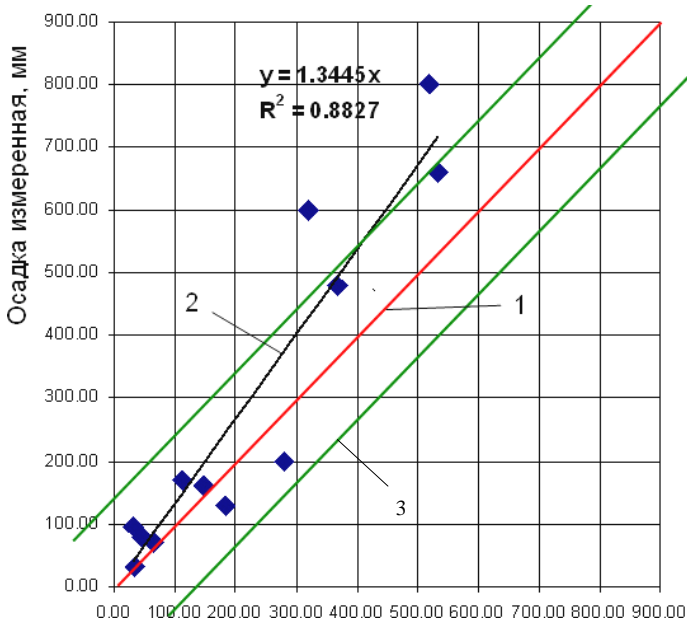
ками обычно организуются в том случае, когда при строительстве возникли проблемы. При этом могут затрагиваться интересы многих участников процесса и поэтому данными измерений делаться неохотно. В итоге результатов измерений для построения научных теорий явно не хватает. Ведь для разработки теории расчета осадок нужно собрать воедино информацию о конструкции 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.

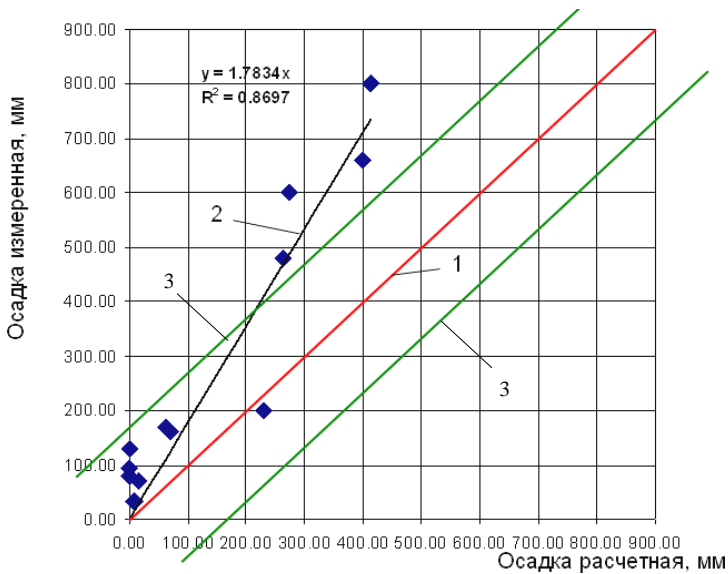
Сразу же необходимо рассказать об одной сложности, которая возникает при сопоставлении расчетов и данных наблюдений. Какую осадку следует считать конечной? Как правило, реальные наблюдения имеют вид плавно загибающейся кривой. У этой кривой есть одна особенность. Ее психологическое воздействие сильно 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 лю-

бая 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.

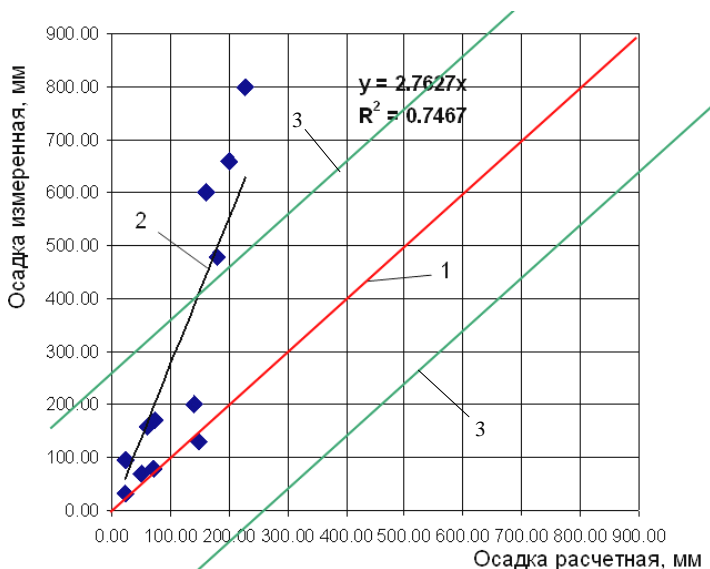
a)



б)



е)



Сопоставление результатов расчетов с данными натуральных 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 осадок; 2 – их линейная аппроксимация; 3 – среднеквадратическое отклонение

Лучше всего работает метод  
последнего 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 наблю-

дается. Лучше всего работает старый добрый метод послышного суммирования – он врет в среднем «всего» на 30%. Осадки по другим методам в разы 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 более точно описать объект – ввести, хотя бы, обмер в уровне талии.

Для исследования свойств грунта придуманы специальные приборы – стабилметры, 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 стабилметрические испытания вы-

полняют 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 заказал более подробные геологические изыскания с определением специальных параметров сложных моделей механики грунтов в трехосных испытаниях (в стабилOMETрах). 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 стабилметрических 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 исполь-



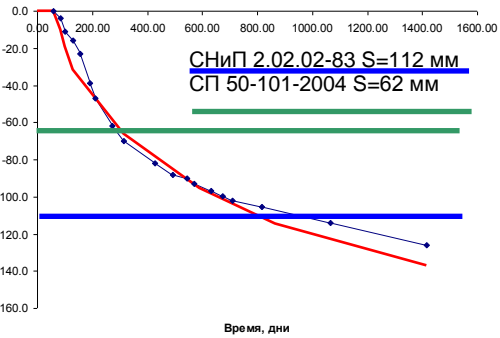
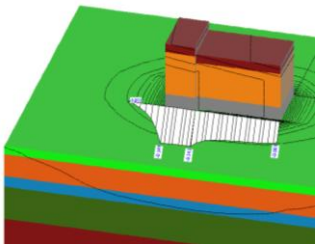
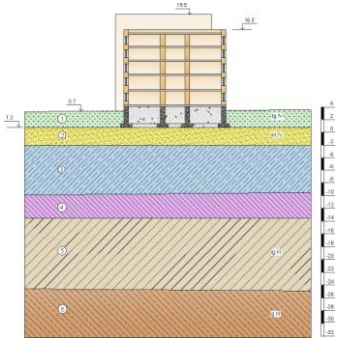
зованием этой модели что-то принципиально новое по сравнению с методом послойного суммирования – значит, он либо сам себя запутал, либо пытается запутать Вас.

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. Примерами наиболее эффективных моделей является Hardening Soil Model программы PLAXIS или упрочняющаяся вязко-упруго-пластическая модель нашей программы *FEM models*.

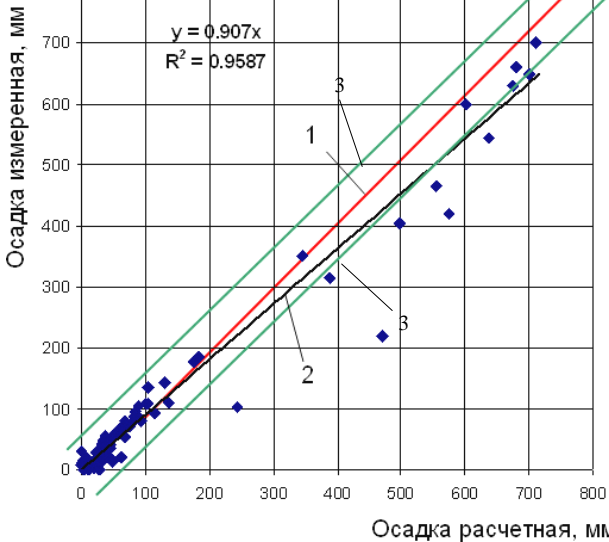
### **Применение нелинейных моделей для расчета осадок.**

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 упруго-вязко-пластической модели программы *FEM Models* моделировалась 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.

СПб, В.О. 17 линия 23



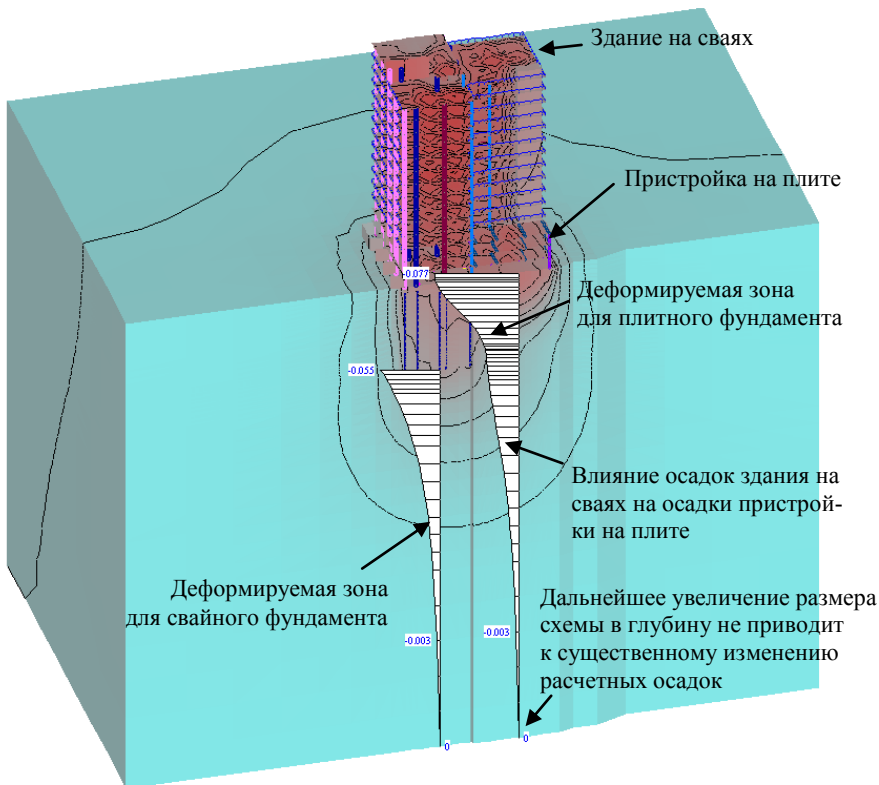
Данные наблюдений и расчет осадок разными методами для одного из объектов из базы данных



Сопоставление результатов расчетов с данными натуральных наблюдений за осадками. 1– прямая идеального совпадения расчетных и наблюдаемых осадок; 2– их линейная аппроксимация; 3– среднеквадратичное 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. Попадаются 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.

Упруго-вязко-пластическая модель  
сама ограничивает деформированную  
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 компании «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 тот 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 Винк-



лера), 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 основание. 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 9. О приемах экспертной оценки корректности геотехнических расчетов.**

### **Простейшее правило проверки численных расчетов взаимодействия здания и основания**

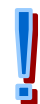
Итак, мы, наконец, добрались до самого главного в этой части – правил проверки геотехнических расчетов. Вам принесли расчеты проектируемого здания (петербургские нормы требуют собрать все расчеты основания здания в томик под названием «Геотехническое обоснование»). По современным нормам для любого здания (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 использо-

вании более сложных упрочняющихся моделей грунта. Если применяются такие модели (например, Hardening Soil Model (HSM) программы PLAXIS или упрочняющаяся упруго-вязко-пластическая 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



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, вязко-упруго-пластическая 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 правиль-

ном 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 отечественной 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 выполнять геологические изыскания 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?

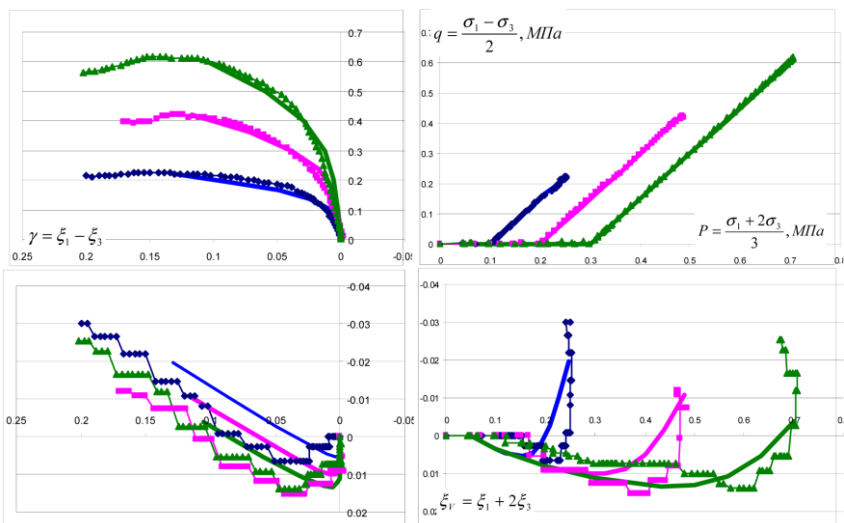
Модель должна описывать лабораторный опыт.

 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.

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».





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

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 8. 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, на-



ка, как мы уже говорили, должна органично сочетаться с практикой проектирования.

## Глава 10

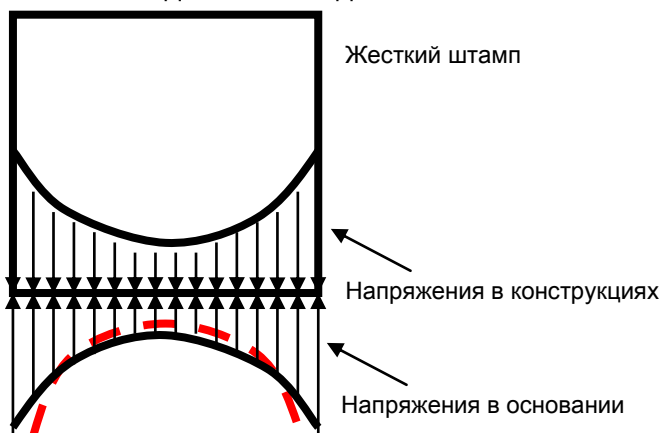
### Основные эффекты, проявляющиеся при совместных расчетах оснований и конструкций зданий

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 №38 «Взаимодействие основания и сооружений» Международного общества геотехников ISSMGE, профессор В.М. Улицкий был выбран председателем этого комитета.

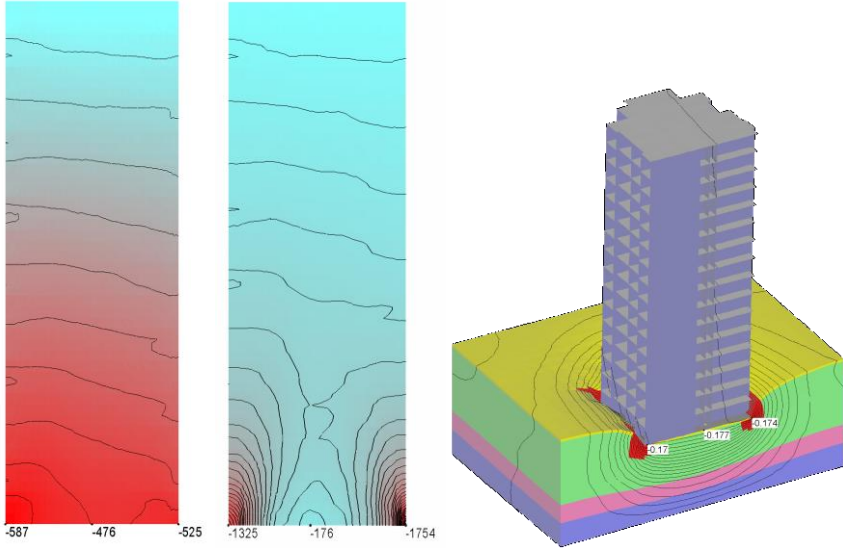
Рассмотрим основные эффекты, проявляющиеся при совместном расчете здания и нелинейно-деформируемого основания. Эти эффекты известны с момента появления механики грунтов. Их «новизна» является, скорее, психологической проблемой, возникшей из-за традиционной разобщенности расчетов зданий и их оснований.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



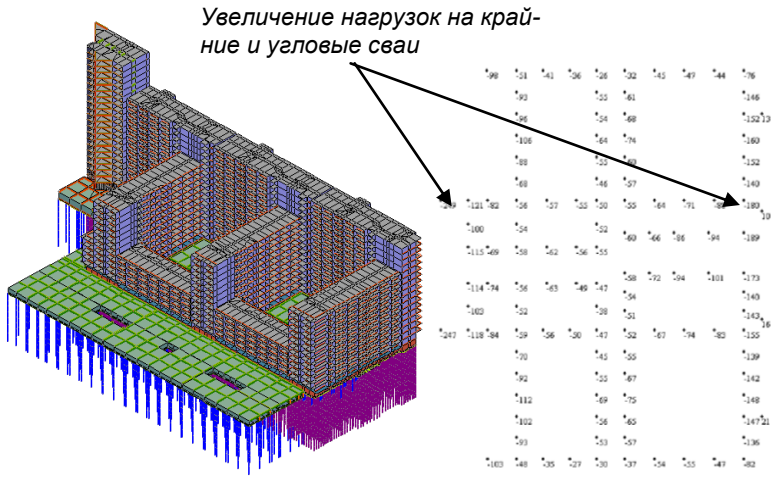
*Теоретические напряжения в упругом полупространстве*

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 ре-

альной конструкцией здания вертикальные нормальные напряжения в краевых зонах окажутся сильно увеличенными. 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.

### **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 бесполезны. Как правило, нельзя использовать в таких расчетах и простейшую идеально упруго-пластическую модель («модель Кулона-Мора»). Она неправильно описывает работу грунта при снятии нагрузки в процессе экскавации грунта – в результате дно котлована «подскакивает» на невероятную 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 оттестированы путем сравнения расчетов с данными натурных экспериментов. Для этого нами было организовано несколько опытных площадок по устройству котлованов на территории города. На этих площадках упруго-вязко-пластическая 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*



## Глава 11 – 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 поленитесь 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 «рацухи» 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 проконсультироваться 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.

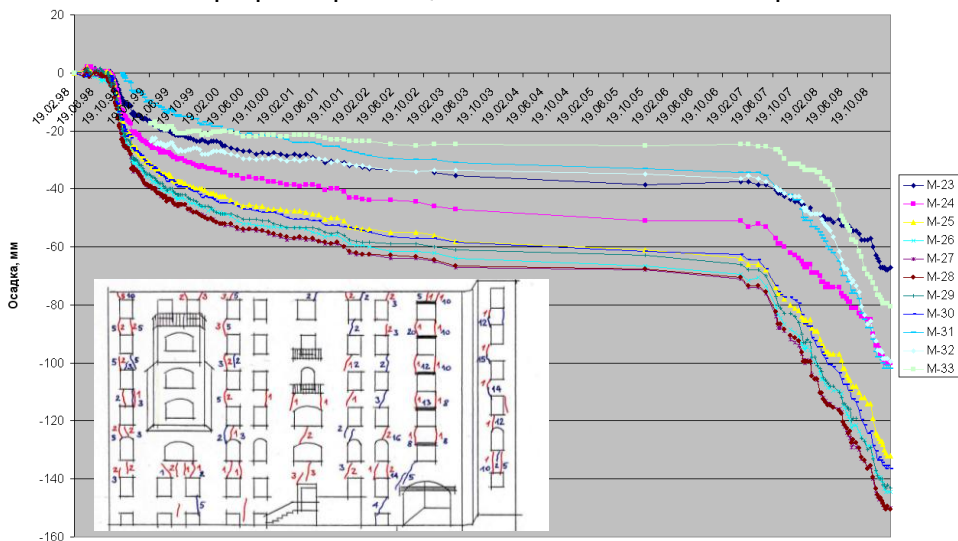
Попросите подрядчика показать результаты наблюдений за осадками соседних зданий. Можете быть уверены, если в действительности все было настолько хорошо, как вам рассказывают, подрядчик непременно с гордостью покажет результаты наблюдений. Если возникают затруднения – видно, результат был не настолько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

Вот недавний пример. Знаменитая площадка – долгострой в центре города. На ней сначала иностранцы погубили два здания-памятника архитектуры и «урунили» 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-

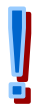
строителю тут впору только развести руками: поистине, называться профессором еще не значит быть инженером.



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 12 – 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 изменяться без мониторинга. Подробнее об этом мы с Вами поговорим в главе 14.




**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 дали разные школьные оценки 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 очередной 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 плохого?	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. Сваи заводского изготовления	А.2 Вибро-погружение	А.2.1 Высокочастотное	ВШ	Сильные вибрационные воздействия	В чистом поле	1
		А.2.2 Высокочастотное безрезонансное	ВШ 402, «Виброфонсер», «Тюнкерс» и др.			
	А.3 Вдавливание	А.3.1 С помощью грузовой платформы А.3.2. Тяжелой самоходной установкой	Установка треста № 101 УСВ120, УСВ120М	Подъем поверхности, свай, соседних зданий. Осадки от тяжелой техники.	2-4 сваи в сутки в зоне примыкания	3
Б. Изготовленные сваи в грунте	Б.1 Извлечение грунта из скважин	Б.1.1 Под защитой бентонитового раствора	«Franki»	Плохой раствор = Бракованная свая = осадки зданий	Контроль качества раствора	5
		Б.1.2 Под защитой обсадной трубы	фирмы «Bauec», «Sazagrande», «Юнттан», установка «Double rotary»			

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

**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, тыкая 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 УСВ120 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.

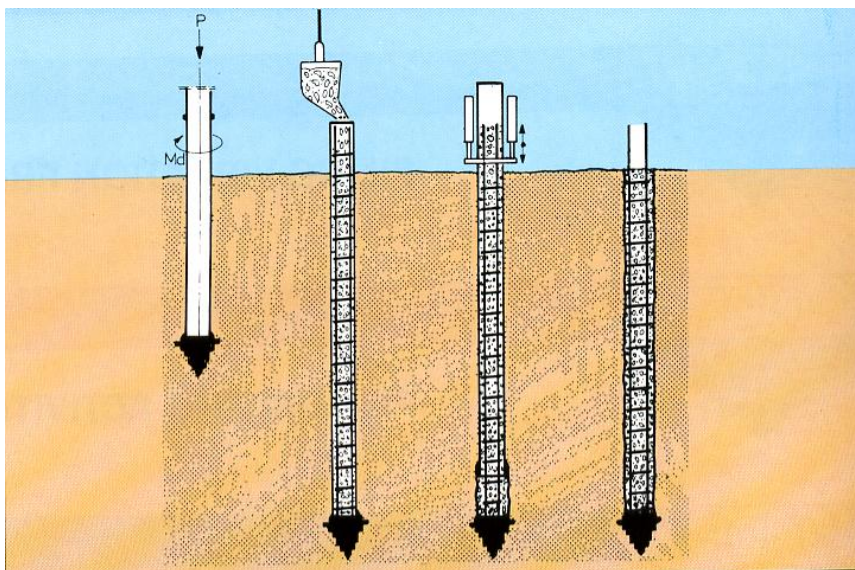
Вдавливание свай осуществляется тяжелыми установками весом 120 т. Её движение вдоль здания способно спровоцировать его осадки.

Резюме: в 10-метровой зоне примыкания к соседним зданиям технологию вдавливания свай следует применять с великой осторожностью, изготавливать не более 2–4 сваи 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. Внутрь 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,

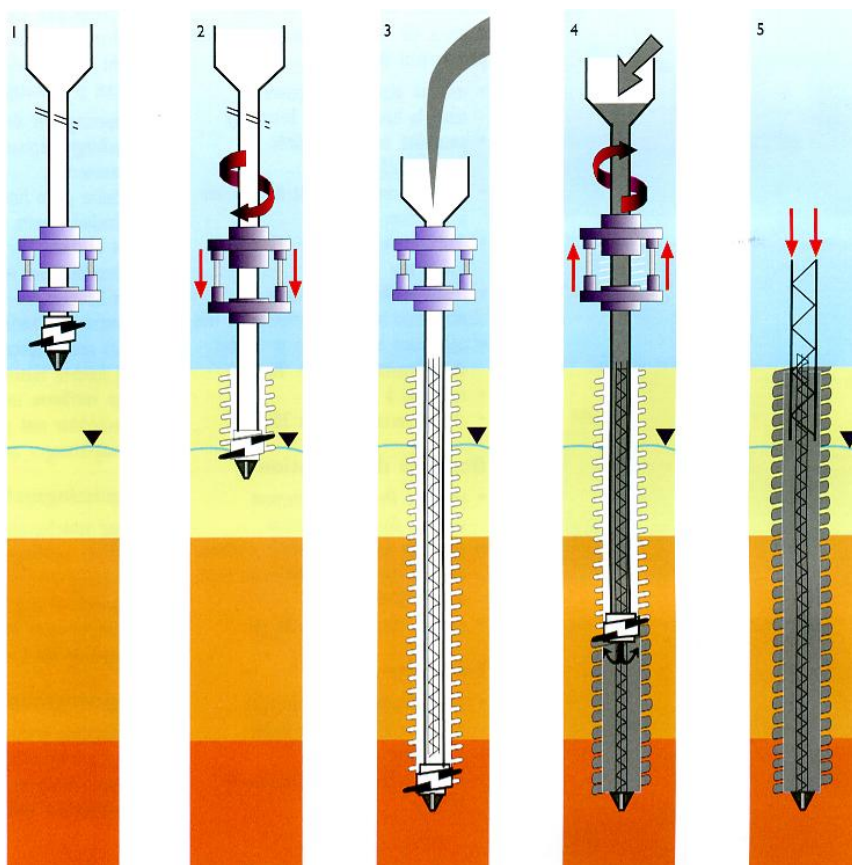
при этом двигались фронтом работ на здание, нагоняя на него волну выпора. Соседнее здание в последующие 3 года село на 10 см, а новое получило существенную неравномерную осадку, совершенно нетипичную для здания на свайных фундаментах. Причина неравномерной осадки кроется в эффекте выпора свай. Заметьте: буровую сваю невозможно догрузить после выпора. Кроме того, живой неподдельный интерес вызывает вопрос: а что же происходит с сырой, еще не схватившейся сваем, 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 свай релаксировать (успокоиться). Кроме того, геотехнику надо контролировать

отметки голов свай – не полезли ли они вверх. Каждую под-  
нявшуюся сваю нужно протестировать на сплошность (не  
«порвалась» ли она).



*Устройство свай по технологии «Atlas»: 2 – вкручивание пуансона с воз-  
можностью 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 осуществ-



лялось 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.

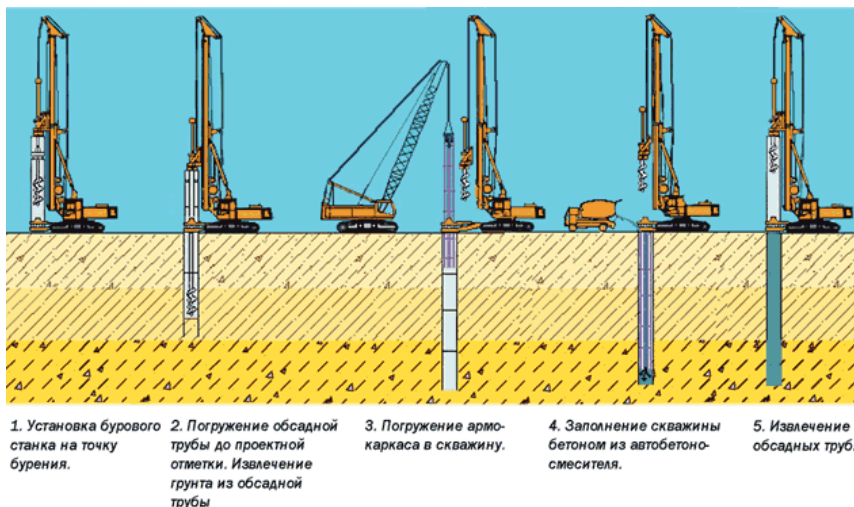
Кстати, очень полезно научиться отличать рекламные приемы от истинных особенностей технологий. Часто подрядчик утверждает, что сваи по его технологии несут больше. Когда начинаешь выяснять, больше чем что – оказывается: больше, чем он думал.



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 **бентонитовым раствором**.

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.



*Устройство свай под защитой обсадной трубы*

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

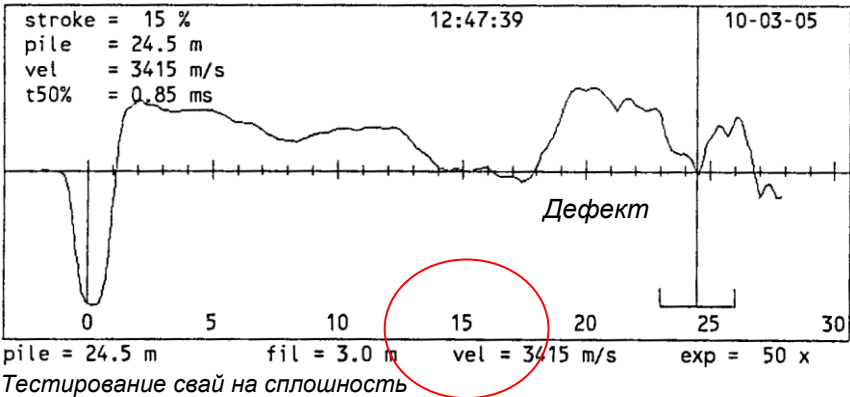
«Рационализацией» технологии изготовления свай под защитой бентонитового раствора является его подмена так называемым «буровым». Технологией предусмотрена сопутствующая работа целого бентонитового завода: раствор должен постоянно очищаться от грунтового шлама.

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.

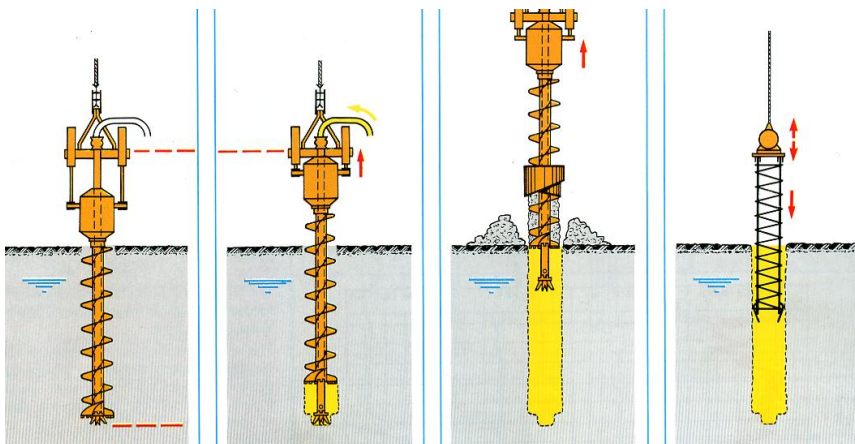
Поистине, нет такой западной геотехнологии, которую были бы не способны испортить наши «умельцы».

pile number : 4.7



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 разрушенный в 2007 г. дом Мурузи. В 1998 г. нам удалось спасти от этой технологии дом Перцова (Лиговский пр., 44). Мы доказали западным подрядчикам опасность этой технологии (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.

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 13 – 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 хотя постараться снизить до минимума.

*Авария  
котлована  
в Москве*

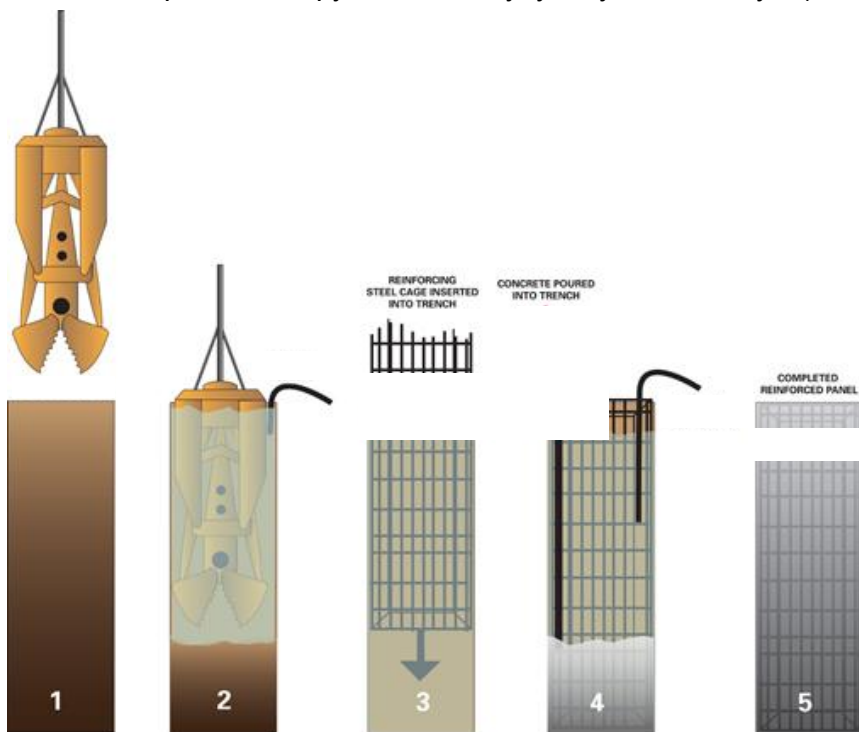


О том, как правильно спроектировать подземный объем, мы уже с Вами говорили в главе 5. Остановимся теперь на технологиях подземного строительства.

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.

«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 – форшахта. Когда достигают проектной отметки, грейфером тщательно зачищают дно. В траншею 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).





*Последовательность устройства стены в грунте на одной захватке.*

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.

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.

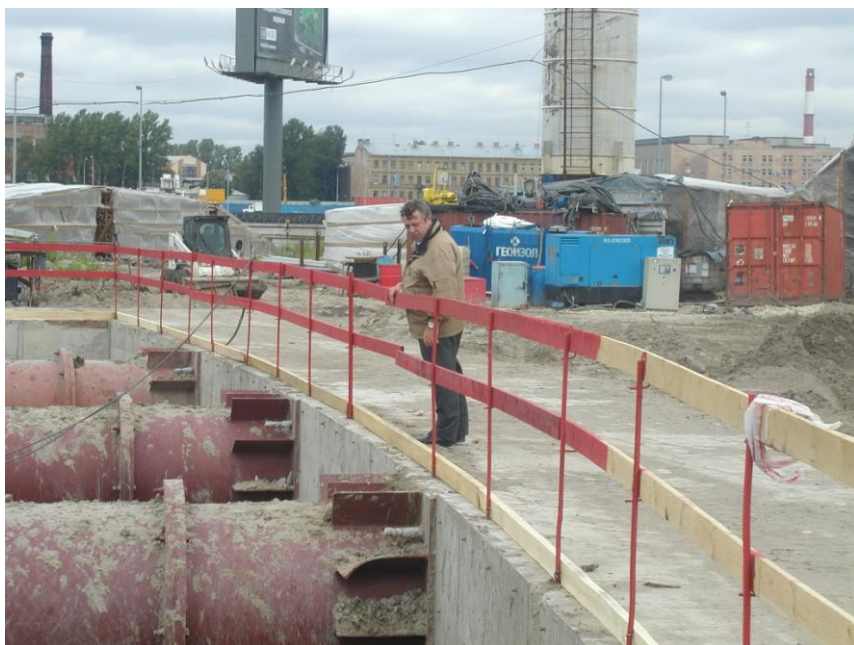
Другим очень важным достоинством этой технологии является ее безопасность для соседних зданий.

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.

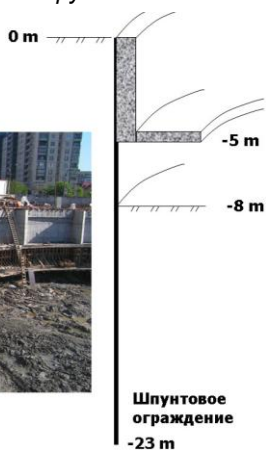
Поэтому в технологию было внесено изменение: к бентониту был добавлен цемент, чтобы повысить плотность раствора до  $1,5 \text{ т/м}^3$  (вместо  $1,05\text{-}1,15 \text{ т/м}^3$  у чистого бентонитового раствора). Стенки проходки в тяжелых грунтах проще

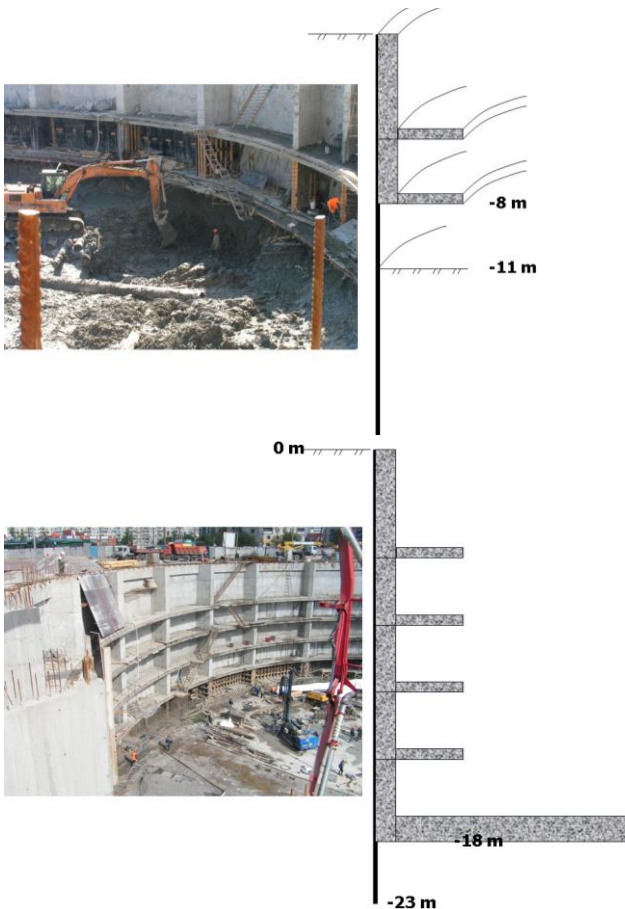
удержать тяжелым раствором. Но – вот беда, этот раствор труднее вытеснить бетонной смесью, плотность которой равна  $2,2 \text{ т/м}^3$ . Поэтому было решено в траншею, изготовленную по технологии «стена в грунте» погружать металлический шпунт. Получившуюся в результате конструкцию мы прозвали «шпунт 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.

Вторым этапом отладки технологии стали фрагменты рампы 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 компанией «Геореконструкция».



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





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 полутора метрах от фасадной стены фирма «Геоизол» выполнила опытную площадку, огражденную стеной в грунте 30-метровой глубины плоского и таврового сечения. Эксперимент оказался блестящим. Несмотря на все мыслимые препятствия (работы велись вплотную 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 мышах 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 лаdana 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. А подрядчики, если они повторят путь, который сегодня прошла, пожалуй, только фирма «Геоизол», научатся делать «стену в грунте» в питерских грунтах.

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 прозрачную 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 секущихся 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 (6-7 м), находящихся на расстоянии от соседних зданий большем, чем их глубина, 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 перемещения 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 лошастью 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 выбирать 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 16. Но без особой надобности прибегать к этому методу мы не посоветовали бы даже заклятому оппоненту. Извлекать слабый глинистый грунт непросто 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 геройство. Слабые грунты норовят поглотить даже малогабаритную технику. Еще предстоит разработать передвижные подмости, технологические приемы по механизированной разработке слабых грунтов. А пока остается надеяться только на героев ручного труда.

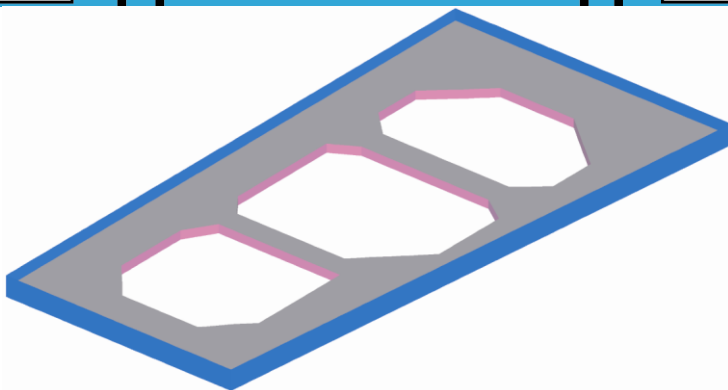
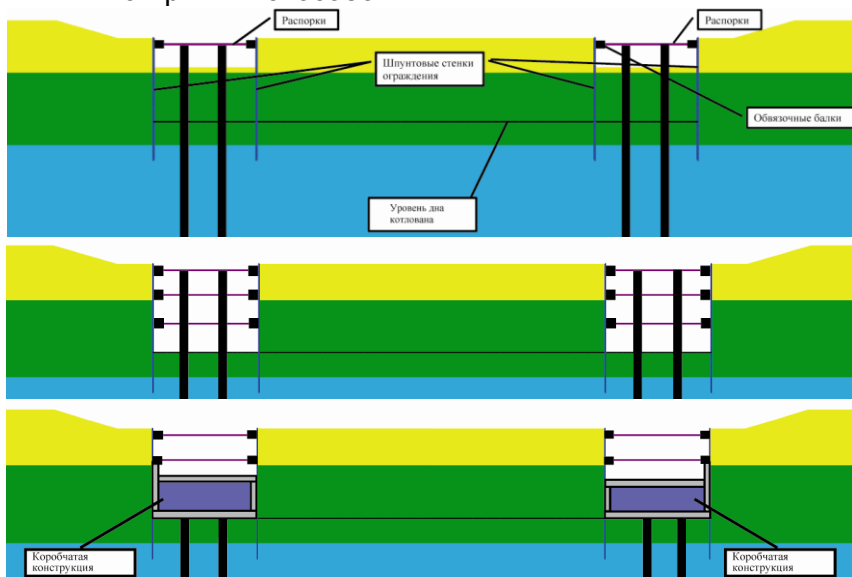
Мы уже упомянули, что лучший способ избежать откопки по технологии top-down – делать круглый котлован. Кольцо держит себя само. Тут не нужны распорки. Нужны разве что ребра-обручи в уровнях перекрытий. Но такая форма для котлована – редкость. Чаще всего котлован делают той формы, какую имеет участок. 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.

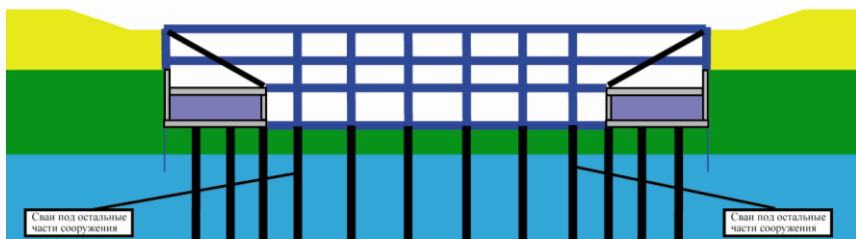
Насколько сместится ограждение котлована, настолько же сядет соседнее здание.

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 дна, 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 перемышками. Внутри жесткого контура заключен основной объем грунта, который можно разрабатывать привычным открытым способом.





*Последовательность откопки котлована при устройстве жесткой железобетонной рамы.*

Петербургские грунты обладают одним коварным свойством. Ограждение котлована в них норовит 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).

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 порядка 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 противодинамические 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 технологии на опытной площадке и геотехнического мониторинга.



## Глава 14 – 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 немислимы 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 прибористы, измеряющие вибрации. 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 геотехнологий 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.

К сожалению, такие попытки сейчас наблюдаются, что особенно неуместно в условиях экономического кризиса.

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**

*тематические экскурсии  
по замечательным объектам*



## **Глава 15. 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 свежеремонтированных стенах появлялись трещины. Особенно пугала трещина по оси здания над полукруглым окном на фронтоне. 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 компания «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 фунда-

ментов. Оказалось, что сперва из гранитных валунов и известковых плит был возведен ленточный фундамент под наружные стены стилобата, который образовал прямоугольную в плане дамбу.

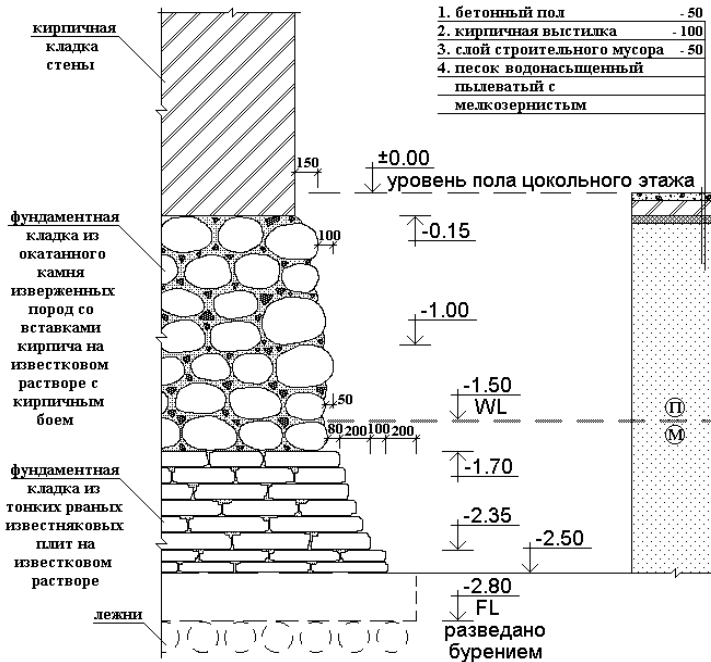


*Здание Биржи на момент завершения строительства*

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

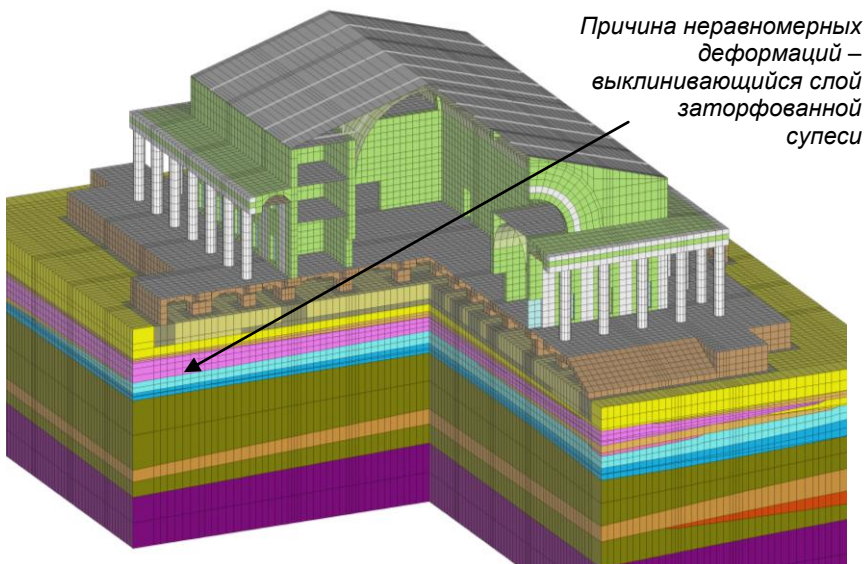


*Фундаменты наружной стены стилобата Биржи*

Другой версией, высказанной в ряде ранее проведенных обследований, было предположение о связи деформаций с неравномерным 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.

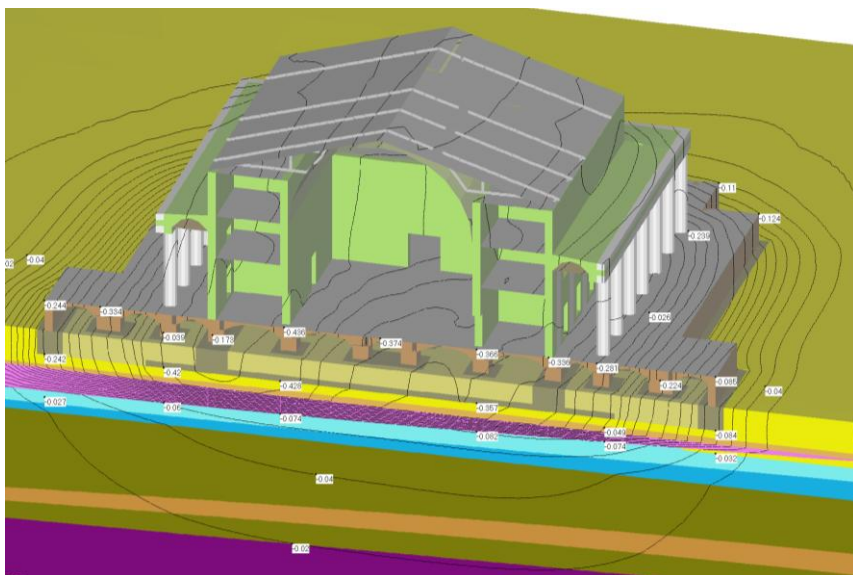
В итоге список гипотез сократился до единственной: неоднородности инженерно-геологических условий территории. Проведенные нами геофизические исследования (сейсмотомография) подтвердили наличие более слабых грунтов под южной частью здания.

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



*Фрагмент расчетной схемы здания Биржи и основания.*

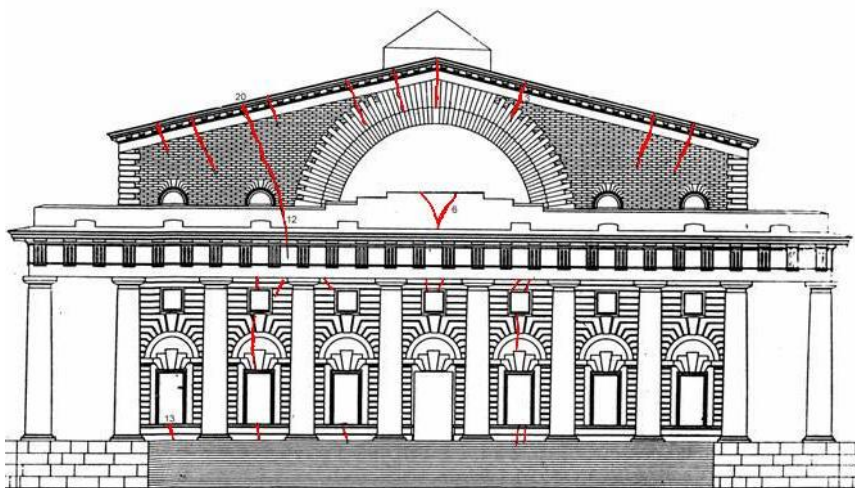
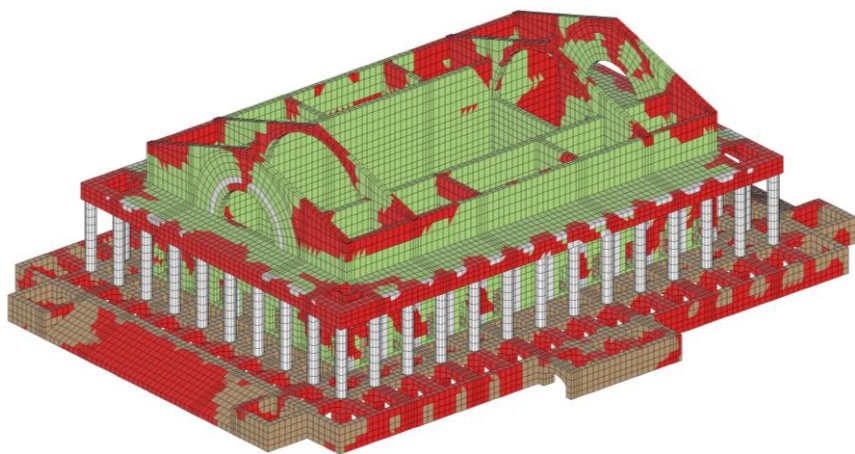
Как показали расчеты, осадка здания происходила неравномерно: за период его существования южный фасад сел на 43 см, а северный – на 28 см. Неравномерность осадок по расчету (15 см) вполне соответствовала геодезическим измерениям. Разумеется, геодезические наблюдения за Биржей с момента ее постройки не 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 происхо-

дит 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 потребуются.

Как мог заметить Уважаемый Читатель, специалисты «Геореконструкции» 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 «спасателей» 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 двадцатка 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 покрытий, 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.

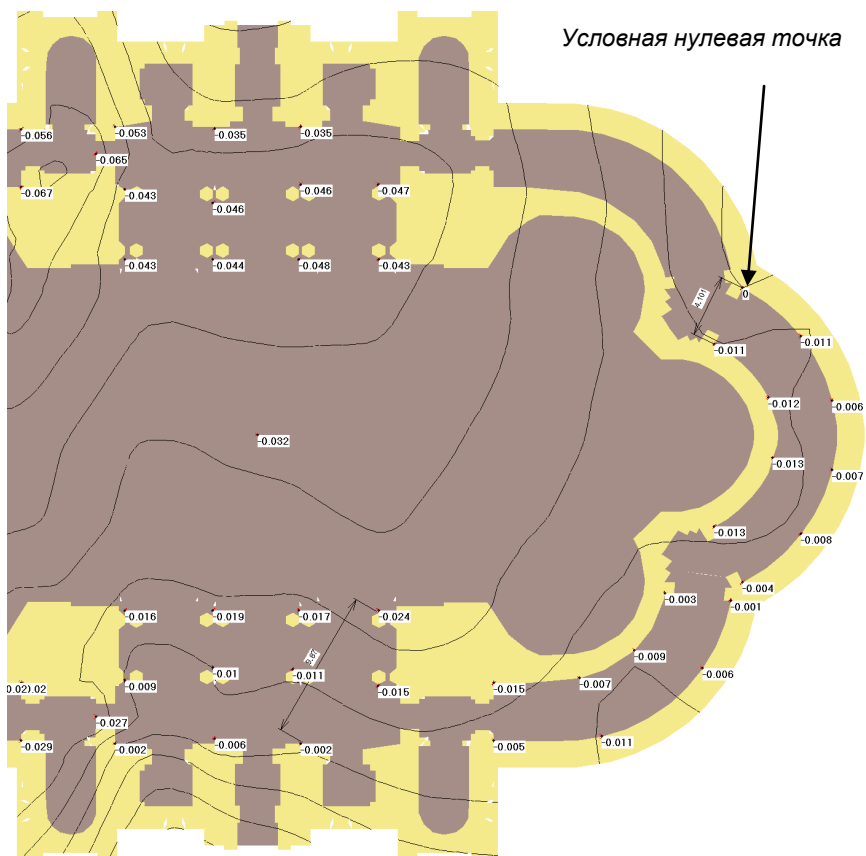
Тем не менее, морозобойное разрушение не объясняло общей картины деформирования здания с характерными наклонными трещинами в поперечных стенах, сквозными трещинами в арочных перемычках и сводах.

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



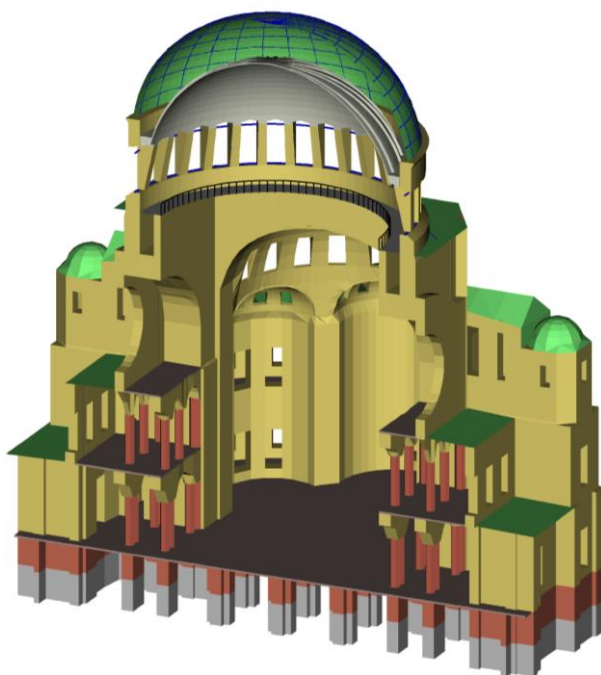
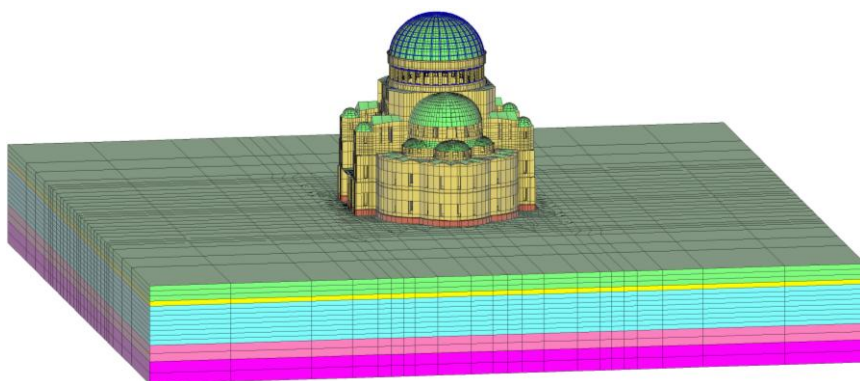
трещинах был лед, он стал таять и расширяться (!) в объеме. Потом (видя наше великое удивление), они несколько изменили свою концепцию: в глубине стен, якобы, накопился холод, а вода с крыши весной протекла внутрь трещин, там она стала замерзать и т.д., и т.п. Элементарные расчеты теплопроводности, к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

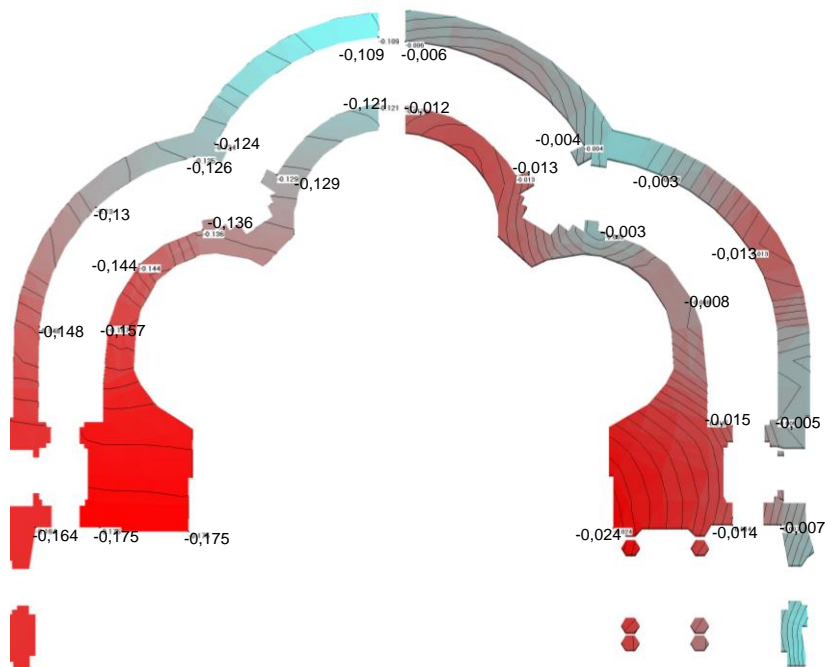
Другое возражение: способен ли перепад в какие-то 2 см привести к той картине трещин, которую мы сегодня видим? Этот вопрос нуждался в тщательном расчетном анализе.



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

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

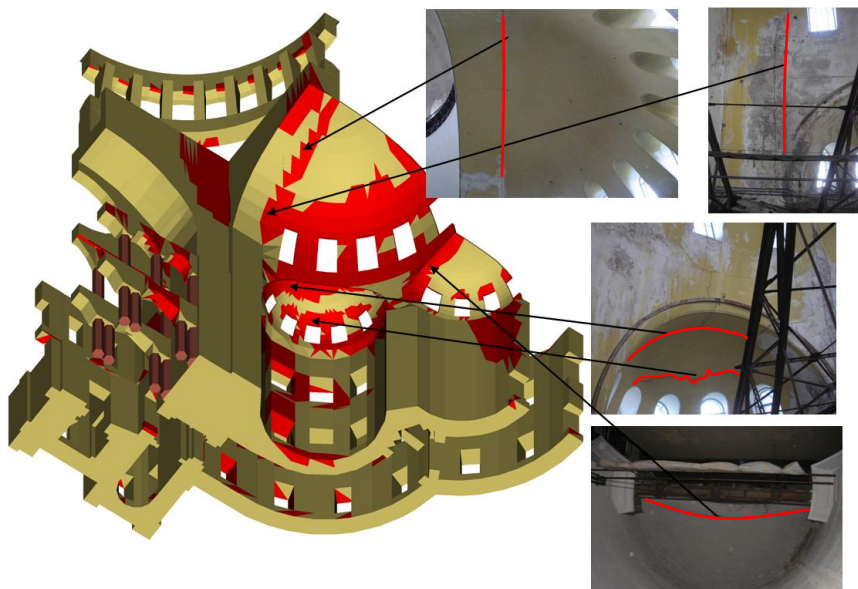
обследования исторического здания был построен нами таким образом, чтобы получить все необходимые параметры для расчетной модели. Была определена прочность кирпичной кладки, класс бетона фундаментов и нижней полусферы главного купола, уточнена конструкция отдельных узлов и элементов, уточнены свойства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



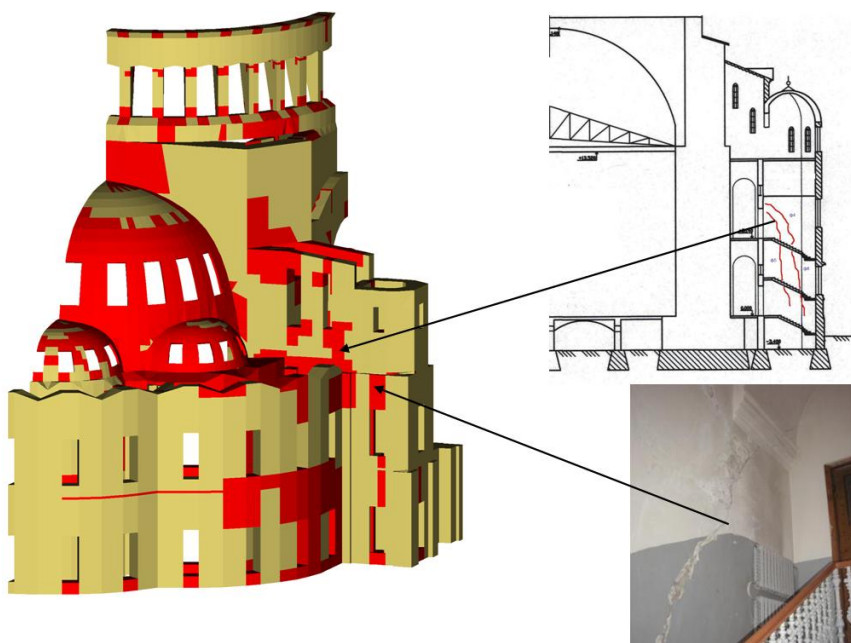
*Сравнение характера развития неравномерных осадок по расчету с учетом образования дефектов(слева) и по данным геодезических измерений (справа). По расчету (слева) подписаны абсолютные осадки (м). По геодезическим измерениям (справа) подписаны разности осадок (м) относительно условной нулевой точки*

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 подкупольными 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 показать, имеются ли признаки ухудшения механических свойств основания в связи с воздействием каких-либо природных или техногенных факторов. Возможно также, что механизм сегодняшнего деформирования собора был запущен еще при его строительстве, и мы наблюдаем 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 является скол кирпичных консолей столбов барабана, поддерживающих железобетонный купол. Здесь должны быть неза-

медлительно предприняты вполне понятные усилительные меры.

## **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 компании «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. Перевозка «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.

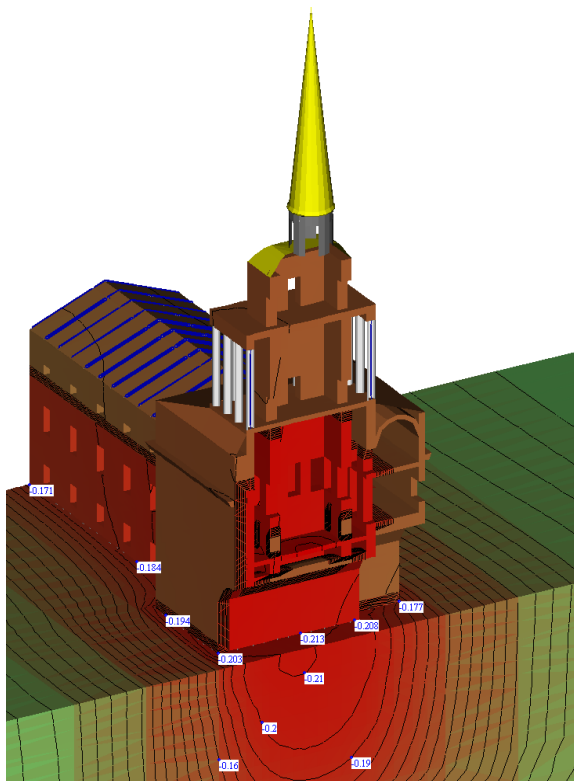
Может быть, под действием каких-либо техногенных факторов ухудшились грунты в основании башни? Проведенные нами изыскания показали, что фундаменты башни возведены на разнородных грунтах – насыпных и естественного сложения песках и природных песчаных супесях. Зондирование этих грунтов показало, что несмотря 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.*

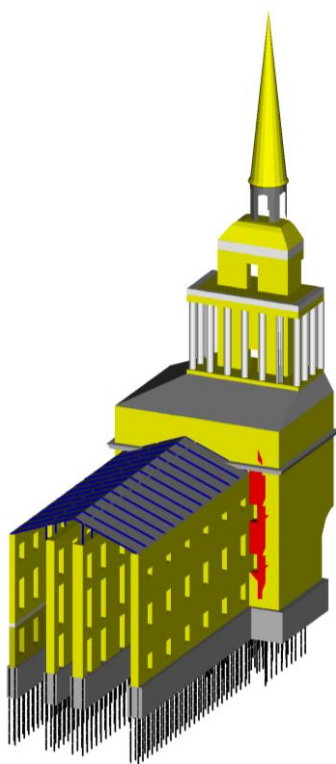


Для выявления истинных причин деформаций и прогноза их дальнейшего развития на помощь вновь приходит численное моделирование работы системы «здание – фундаменты – основание». При моделировании с помощью программы *FEM models* ставилась цель как можно точнее отобразить конструкции здания и историю его 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**

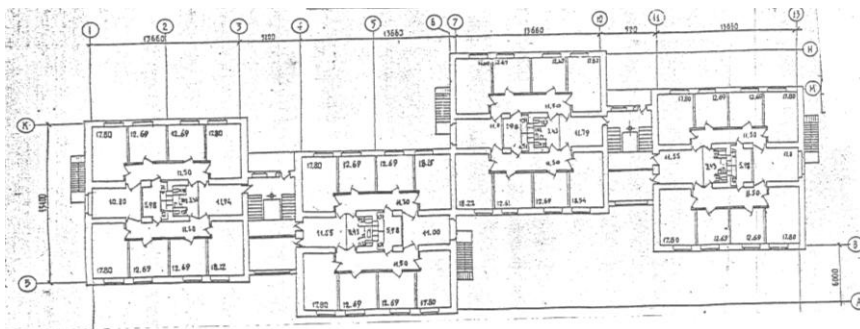
Когда на страницах этой книги мы говорили, Уважаемый Читатель, о риске для сохранности здания – мы имели в виду риск его повреждения. Обрушение зданий – это риск гораздо более высокого уровня. В развиваемой сегодня на Западе теории риска считается недопустимым, если вследствие каких-либо неучтенных факторов 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 простран-

ственной 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 залежали 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 простояло 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 2002г. 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 1.0×1.5м. Непосредственно после откопки послышался 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.

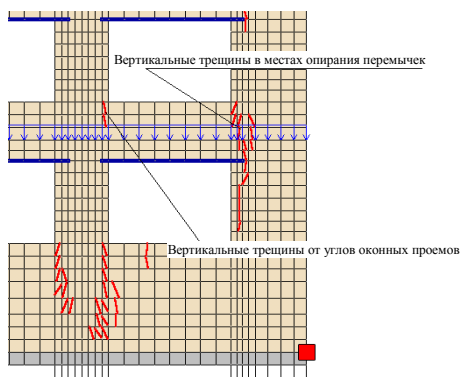
К счастью, жителей успели эвакуировать идеально сработавшие подразделения МЧС. Южная секция получила просадку до 0,5 м. Объем «призмы» осадок составил порядка 50 м<sup>3</sup>.

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 разру-

шения 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.

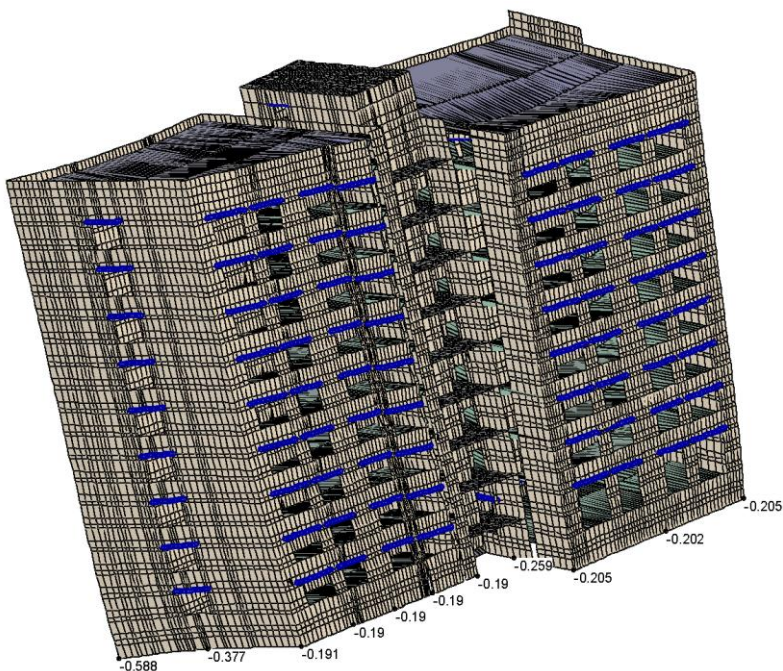
Такая неравномерность приводит к образованию серии вертикальных трещин в стенах, характерных для зданий с железобетонными перемычками. В отличие от зданий старой застройки с клинчатыми перемычками из кирпича, для которых свойственны наклонные осадочные трещины, наличие более жестких железобетонных перемычек 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 16. 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 фирме «Геореконструкция» выполнить обследование Константиновского дворца в Стрельне. Перед глазами специалистов нашей фирмы предстала ужасающая картина.

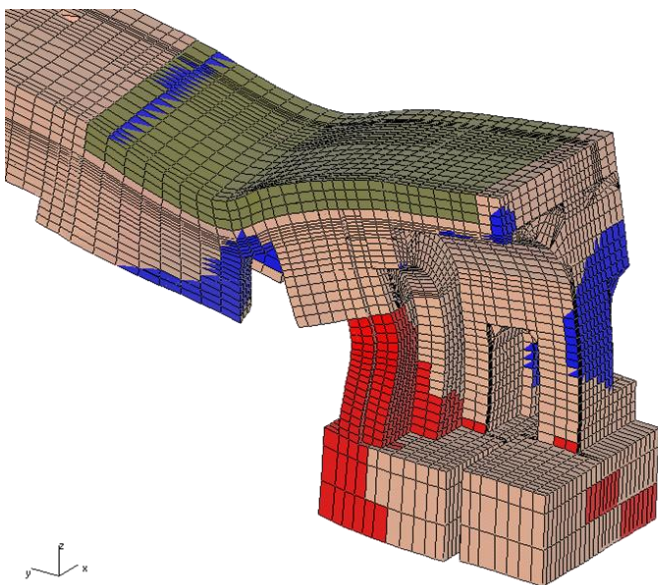


*Вид Константиновского дворца в Стрельне в 2000 г.*

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 stalactites. Из-под поперечных стен ушел грунт – его вымыло струящимися через подпорное сооружение ливневыми стоками. 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. Расстрелли 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 Русска. Но уже в

1848 г. Штакеншнейдер нашел дворец обветшавшим и занялся его реконструкцией. 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.

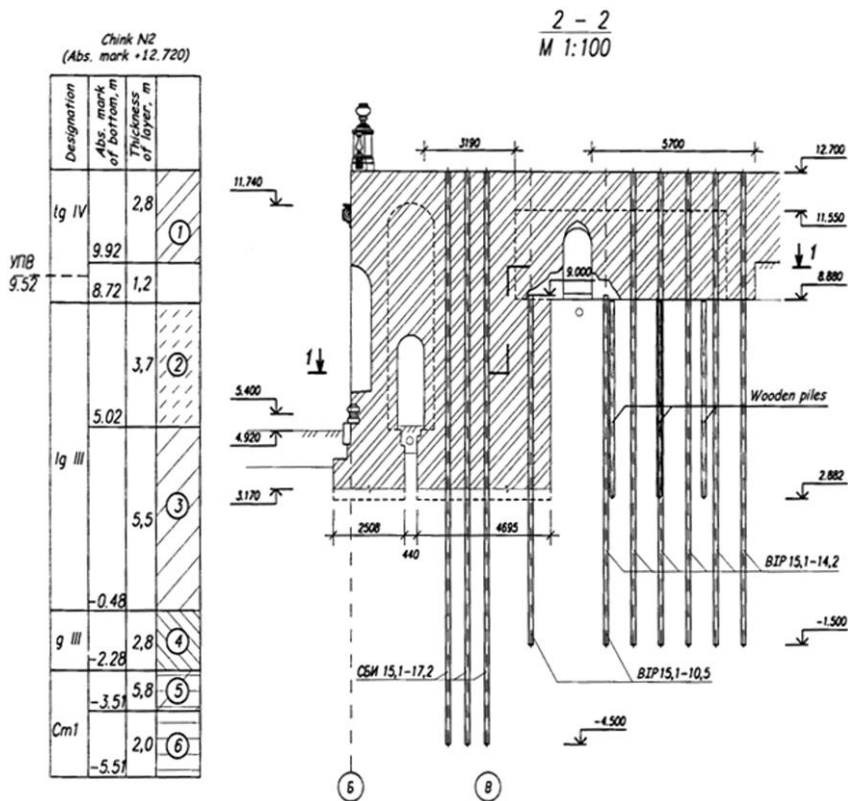
После выезда училища стали набирать силу процессы разрушения дворца. Ливнестоки, проходящие через кирпичную кладку подпорного сооружения, были забиты мусором. Вода скапливалась в них и при промерзании разрушала кирпичную кладку. Необходимо было коренным образом изменить систему водоотведения, обеспечив сток воды в сторону от дворца, минуя лоджии и гроты. 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 гроты 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 пробурировали 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 железобетон-

ный 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.



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 уходя-



щие 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 пре-

мии 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 реализуется сегодня 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 подзатянулись. 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 простоят 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.

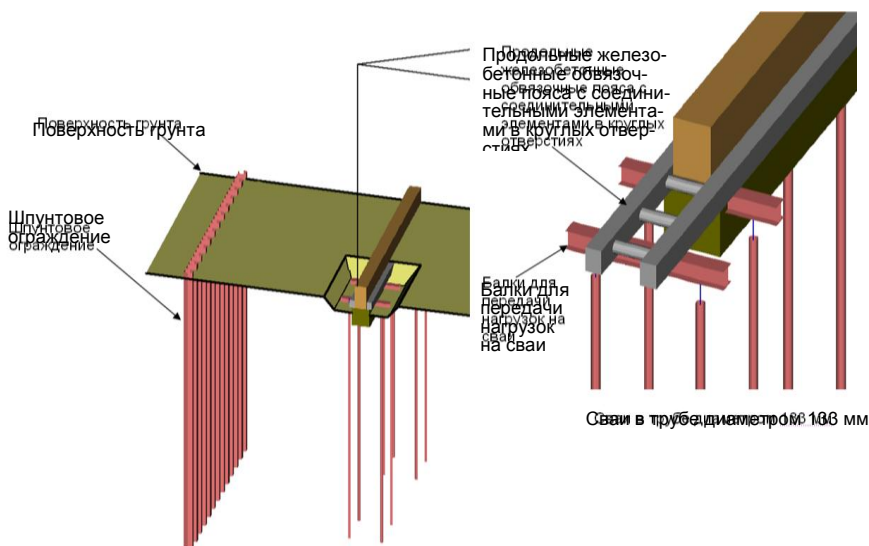
Современный театр – как айсберг: публике доступна только малая его часть. Большая же часть сокрыта от зрителей.

Там располагается сложнейшее сценическое оборудование, склады декораций и реквизита, обширное вентиляционное хозяйство, беззвучно снабжающее воздухом зрительный зал. Там расположены гримуборные, 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 стала фирма «Геореконструкция», известная, прежде всего, своими геотехническими проектами.



*Устройство шпунтового ограждения, буринъекционных 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.*

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.

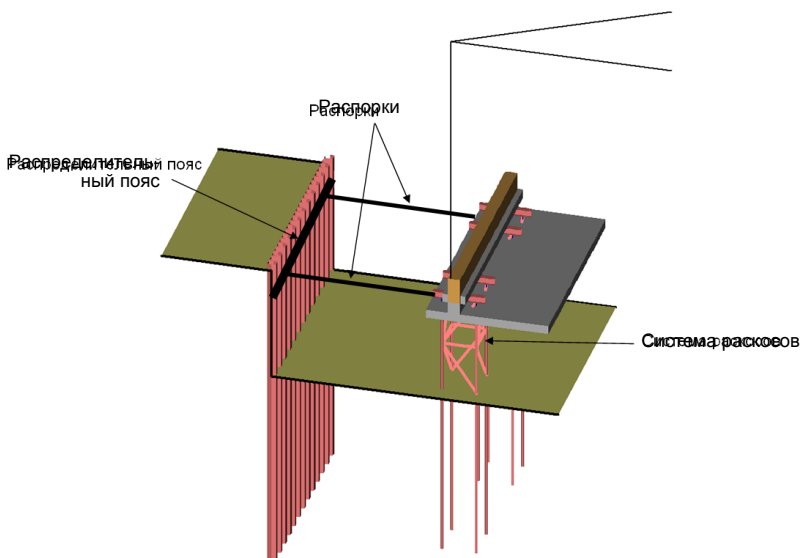




*Устройство верхней плиты.*

Реставрация деревянных конструкций, которая проводилась под научным руководством НИИ «Спецпроектреставрация» фирмой «Краски города» 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 развернуться 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.*

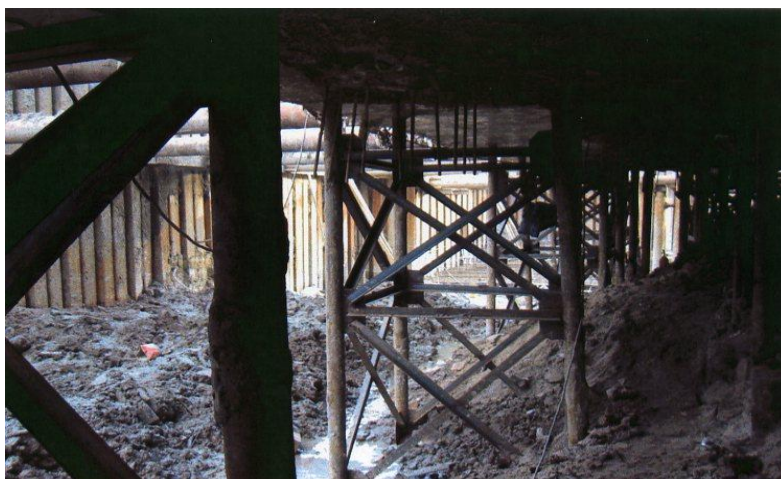
По мере откопки свайные опоры объединялись с помощью металлических раскосов в пространственные сквозные колонны (для надежного обеспечения их устойчивости).

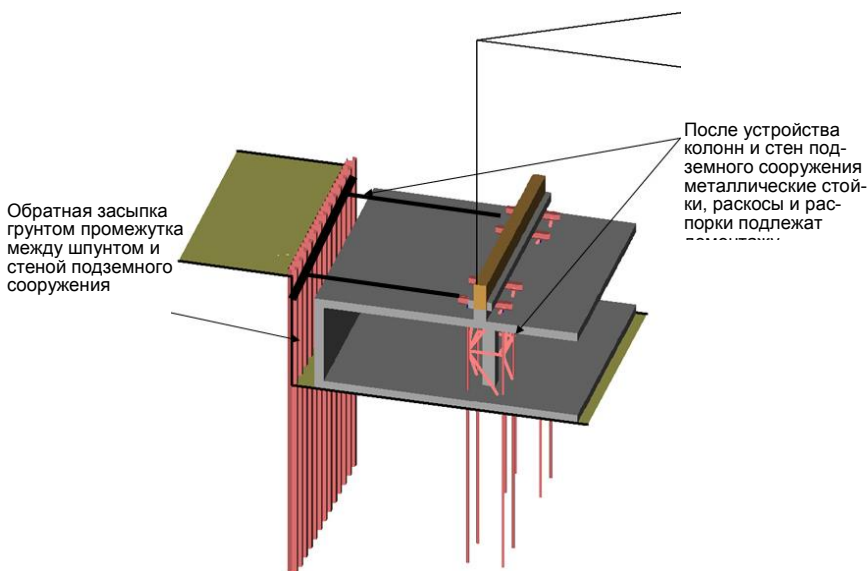
На глубине 6,7 м была устроена железобетонная плита днища, после чего устроены наружные и внутренние стены и колонны, подпирающие плиту на отметке минус 2,0 м. Теперь можно срезать сваи в пределах подземного этажа. Они больше не нужны. Плита днища работает как свайный ростверк, а вес исторического здания 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 будут сняты распорки, и железобетонное перекрытие закроет весь контур подземного сооружения, ощущение чужда (которое испытал всякий равнодушный человек, посетивший эту стройку) исчезнет. Посетитель театра 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 исказить 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 сопровождались строжайшим инструментальным мониторингом. Контролировались параметры колебаний от работы строительной техники, осадки и крены исторического здания театра, подвижки шпунта. Осо-

бое 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 5. 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.

Как только реконструкция и реставрация театра закончится, мы непременно пригласим 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

два года концертный зал на полторы тысячи мест с первой-классной акустикой встречает любителей музыки (тем временем на Мариинке-2 все еще копают котлован).

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 – фирме «Геореконструкция». Акустику зала разрабатывал Тойота, известный специалист из Японии. Генподрядчиком и генпроектировщиком стал «Невисс–Комплекс».

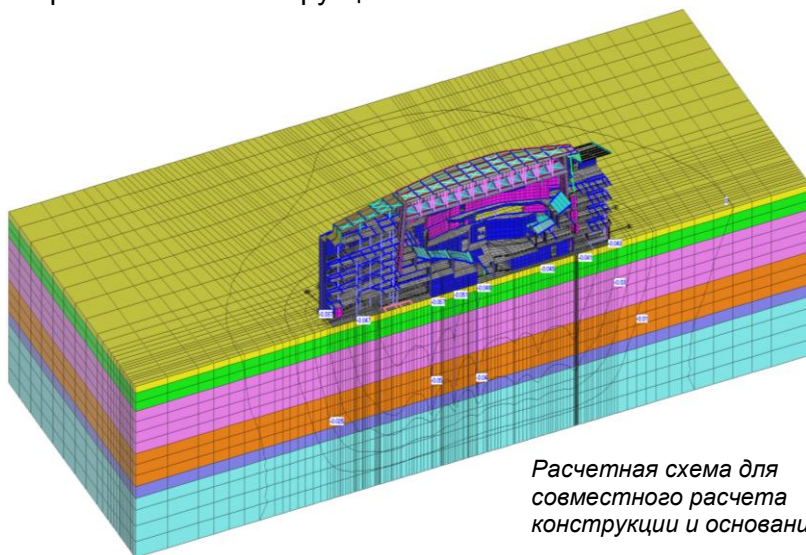
Перед Ксавье Фабром стояла очень сложная архитектурная задача: уместить самый современный концертный зал в прокрустовом ложе участка бывших декорационных мастерских.



*Концертный зал Мариинского театра: сохраненные исторические стены и вид концертного зала*

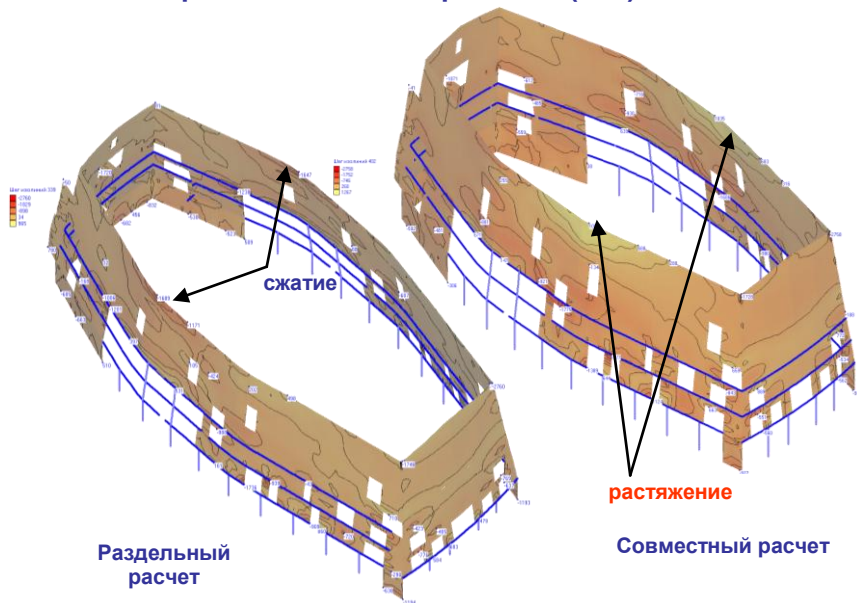
Здание получилось очень компактным, а зал – просторным. По форме он напоминает овальную чашу, вписанную в вытянутый шестигранник наружных стен. Три из них, образующие букву «П» со стороны ул. Писарева – исторические

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 №38 «Взаимодействие зданий и оснований» Международного общества геотехников ISSMGE.



## **Глава 17. 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 a-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.

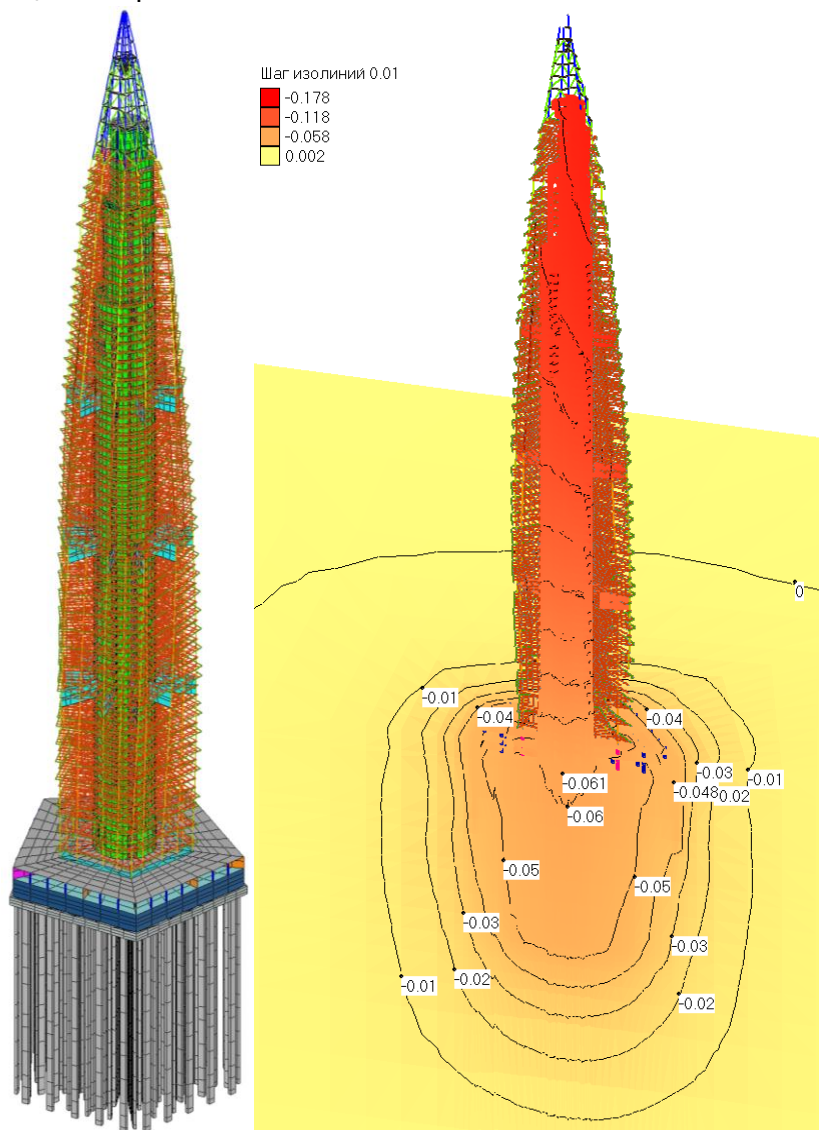
Повышение этажности приводит не только к количественным, но и качественным изменениям принципов проектирования. Любой небоскреб должен иметь единое на всю высоту ядро жесткости, весьма внушительные колонны по периферии и занимающие целый этаж фермы, соединяющие ядро с колоннами через десяток этажей. 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 скрупулезным образом собрана расчетная схема здания, которое не имеет ни одного повторяющегося этажа. Было тщательно промоделировано свайное основание, состоящее из прямоугольных свай-баррет, рассмотрена нелиней-

ная работа грунта основания, рассчитано развитие деформаций во времени.



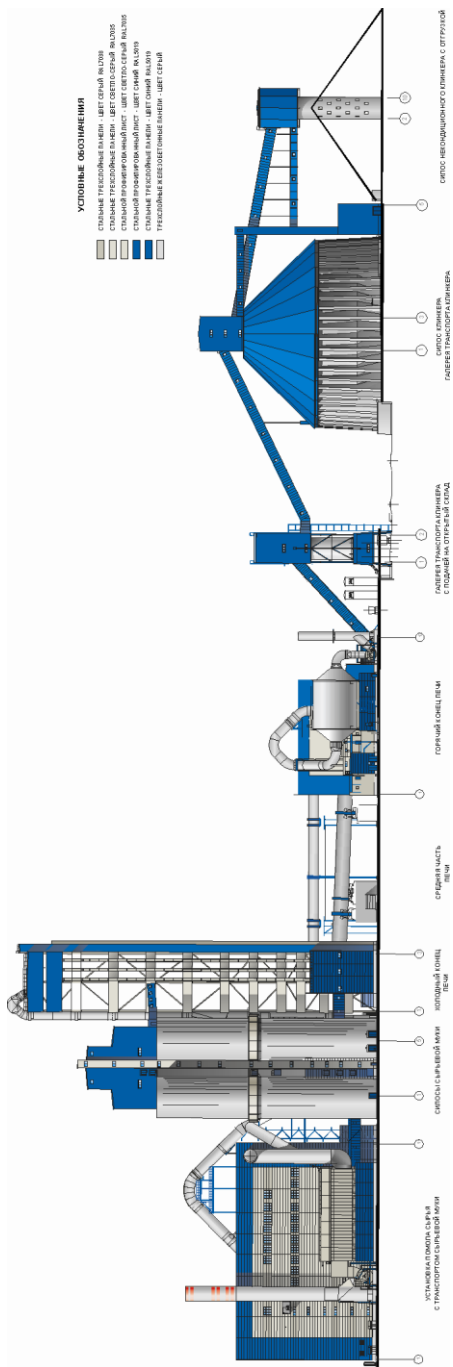
*Расчетная схема высотного здания и изолинии осадок (м) по расчету с учетом нелинейной работы основания и взаимодействия грунта и конструкций здания.*

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 3 года нами сделаны расчеты десятка зданий высотой более 100 м. Пока строительство ни одного из них даже не началось.

### **Завод по производству цемента**

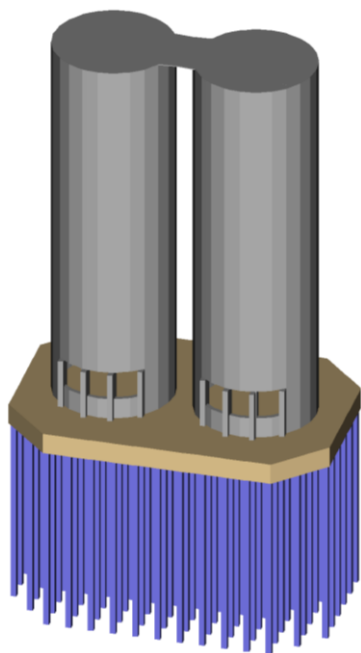
У читателя, которому хватило терпения прочесть нашу книжку, должно сложиться впечатление, что авторы и коллектив компании «Геореконструкция» специализируются исключительно на строительстве гражданских зданий и сооружений в городах. Это не совсем так. Не менее любимым направлением деятельности большинства наших многоопытных сотрудников-проектировщиков является промышленное строительство. Наши сотрудники спроектировали множество знаменитых промышленных объектов в нашей стране. Среди них – почти весь Череповецкий металлургический комбинат. В 90-е годы они спроектировали пивоваренные заводы «Балтика» и «Вена» (другой промышленности в это время не строилось).



Промышленная архитектура – завод по производству цемента

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, два весьма крупных завода по производству цемента.

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 промышленных небоскребов: 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  $80 \text{ т/м}^2$ , 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.

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, другой, подобный ему, – под Новороссийском.



В Мордовии мы столкнулись с весьма экзотическими грунтами. Многометровую толщу с поверхности слагают суглинки с очень низкой плотностью ( $16 \text{ т/м}^3$ ), полностью насыщенные водой, но обладающие довольно высокой твердостью. Родной питерский суглинок представляет собой кисель уже при плотности  $19 \text{ т/м}^3$ . 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.

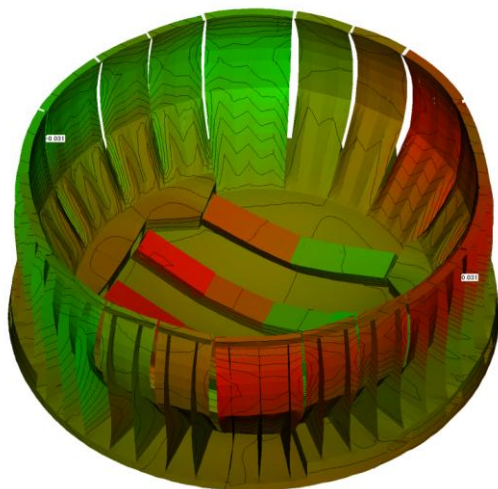
Надо сказать, что мы уже давно перестали слепо доверять изыскателям. Слишком высока ответственность проектировщика. Поэтому вполне уместен принцип: доверяя – проверяй! Геологические изыскания на наших объектах проводятся только по разработанному нами заданию, поскольку мы, геотехники, знаем, какие параметры 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.

Масштаб деформации 0,001  
0,000  
0,011  
0,011  
0,000



*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 допустить 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 алевролиты. Но площадка завода представляет собой холмистую местность с перепадами высот между соседними террасами до 30 м!

Добавьте к этому сейсмике 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 алевролиты 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 сползть по трещинам. Инъецировать их бесполезно – мешает глинистая смазка. Вот и попробуйте поставить на оползневом склоне высотой 30м «чашечку» с клинкером еще большей высоты. Для обеспечения устойчивости склонов и сооружений на них в условиях сейсмике 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 устроить 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. Компании «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 Петербурге 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 слои 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



Схема Орловского  
тоннеля

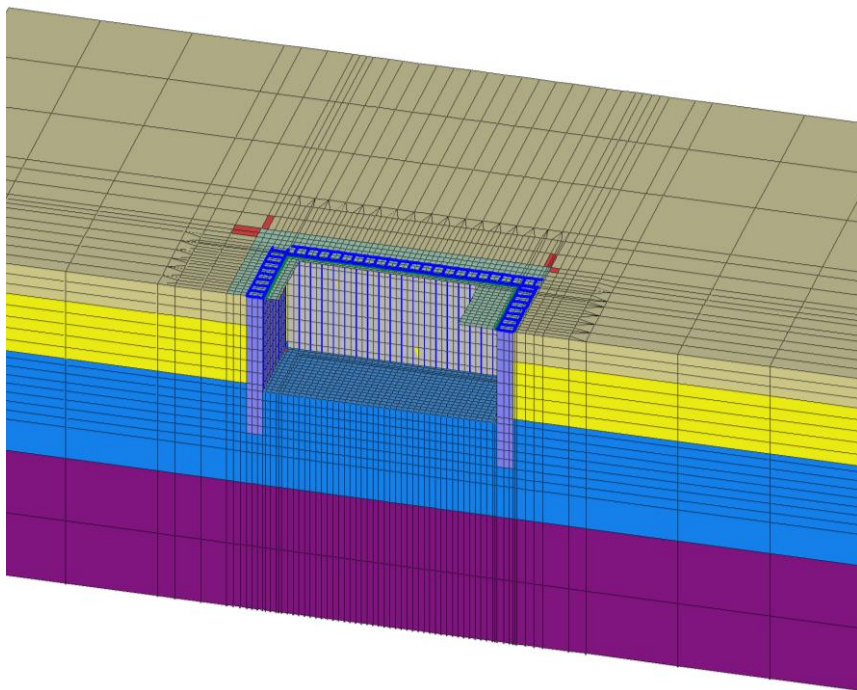
более 6...7 м. Нехитрый подсчет требуемых глубин уничтожает нашу надежду на снижение длины вертикального ограждения котлована при применении этого способа. Он оказывается менее надежным и более дорогостоящим по сравнению с первым.

Итак, необходимо устроить ограждения котлована до глинистых грунтов. Шпунт на требуемую глубину в 40-45 м не погрузить. 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. 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 горюдить 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 10см. 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 компанией «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 само-

го 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 просто-яли 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.

## Об авторах



Улицкий Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» Петербургского Государственного Университета Путей Сообщения, научный руководитель группы компаний «Геореконструкция», лауреат государственной премии Российской Федерации в области науки и техники (за восстановление Константиновского дворца), председатель Санкт-Петербургской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям, председатель Северо-западного отделения и член президиума Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГГиФ), председатель международного Технического комитета №38 «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 группы компаний «Геореконструкция», член президиума РОМГГиФ.



Шашкин Константин Георгиевич – кандидат технических наук, руководитель отдела сложных геотехнических расчетов компании «Геореконструкция», член международного Технического комитета №38 «Взаимодействие зданий и оснований» ISSMGE, автор программы

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение, из которого читатель узнает, зачем ему нужна эта книга .....	3
<b>Часть первая</b>	
Глава 1, объясняющая, что такое геотехника и нужна ли она инвестору .....	8
Глава 2, в которой говорится о предварительной геотехнической оценке инвестиционной привлекательности объекта строительства .....	12
Глава 3, посвященная геологическим изысканиям .....	15
Глава 4 – о пользе строительных норм .....	25
Глава 5 – о геотехническом обосновании .....	30
Глава 6 – о проектировании .....	42
<b>Часть вторая</b>	
Глава 7. О приемах экспертных оценок расчетов и компьютерных программах .....	55
Глава 8. О расчетах осадок зданий. ....	67
Глава 9. О приемах экспертной оценки корректности геотехнических расчетов. ....	86
Глава 10 .....	94
<b>Часть третья</b>	
Глава 11 – о выборе подрядчика .....	104
Глава 12 – о геотехнологиях .....	107
Глава 13 – еще немного о геотехнологиях, но для подземного строительства .....	122
Глава 14 – о геотехническом мониторинге .....	141
<b>Часть четвертая</b>	
Глава 15. Экскурсия первая. Для любителей детективов. Расследование причин деформирования зданий. ....	147
Глава 16. Экскурсия вторая. Для любителей искусства. Дворец, театр, концертный зал .....	174
Глава 17. Экскурсия третья. Для любителей экстремальных видов сооружений. Самое высокое и самое глубокое. ....	196
Послесловие .....	215
Об авторах .....	216

Улицкий Владимир Михайлович  
Шашкин Алексей Георгиевич  
Шашкин Константин Георгиевич

# Гид по геотехнике

(путеводитель по основаниям,  
фундаментам  
и подземным сооружениям)

Подписано в печать 25.01.2010. Формат 50×70 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Raleigh BT.  
Офсетная печать. Тираж 1 000 экз.

Издательство ПИ «Геореконструкция». 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., д. 4.  
Отпечатано в типографии «МСТ». 199048, Санкт-Петербург, В.О., 10-я линия, д. 57.