

## **Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений**

### **1. Причины деформаций зданий в черте города**

При возведении зданий и подземных сооружений в черте современного города чаще всего не удается проводить работы таким образом, чтобы совсем не оказывать влияния на дома, находящиеся в непосредственной близости от нового строительства. В результате работ по экскавации котлованов и последующему устройству несущих конструкций подземных сооружений существующие дома могут претерпевать неравномерные осадки. В их стенах появляются трещины или происходят нарушения эксплуатационной пригодности отдельных конструктивных элементов. Перед проектировщиком всегда стоит задача определения габаритов так называемой «зоны влияния строительства» - такого участка, на котором могут происходить какие-либо негативные процессы, вызванные ведущимися строительными работами. Для обеспечения безопасности существующих зданий и сооружений всегда возникает необходимость достоверного прогноза дополнительных деформаций существующих зданий и сооружений. Если эти прогнозируемые дополнительные деформации представляют угрозу для нормальной эксплуатации зданий, проектировщику необходимо разработать комплекс специальных мероприятий, позволяющих защитить фундаменты и основные несущие конструкции существующих домов, а если избежать негативного влияния не удастся, поставить вопрос о пересмотре концепции нового строительства.

Возникновение дополнительных осадок существующих зданий и сооружений в условиях ведения рядом с ними нового строительства может быть связано с большим количеством причин. Можно выделить несколько типов дополнительных осадок существующих зданий:

1. Осадки, связанные с изменением напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вызванного новым строительством. Осадки указанного типа в большинстве случаев могут быть достоверно определены на основании численного моделирования по специализированным геотехническим программам.

2. Осадки, связанные с температурными воздействиями в процессе устройства новых подземных сооружений. Они обычно проявляются в температурных деформациях

распорок и ограждающих конструкций котлована, что вызывает дополнительные перемещения прилегающего грунтового массива. При проведении расчетов обычно учитываются силы морозного пучения от промерзания грунта, взаимодействующего с подземным сооружением. Осадки указанного типа могут определяться на основании численного моделирования при проведении специальных теплотехнических и деформационных расчетов.

3. Осадки, связанные с устройством ограждающих конструкций котлованов или грунтовых анкеров, усилением существующих зданий в потенциальной зоне влияния строительства. Осадки указанного типа не могут быть в большинстве случаев определены численными методами. Прогноз возможен на основании обобщения данных мониторинга с использованием какой-либо технологии на объектах-аналогах, находящихся в сходных инженерно-геологических условиях.

4. Осадки, связанные с частичной разборкой здания или примыкающих зданий и сооружений. Указанный тип осадок во многом зависит от случайных факторов, например, наличия общих стен и перекрытий сносимого и оставляемого здания. Данные мониторинга для прогноза осадок указанного типа мало информативны.

5. Осадки, связанные с изменением гидрогеологической ситуации в процессе строительства. В большинстве случаев их возникновение связано со строительным водопонижением или с проявлением баражного эффекта в период после окончания строительства. Прогноз указанных осадок осуществляется на основании прогноза изменения гидрогеологической ситуации в ходе строительства, а также на основании расчетов по специализированным геотехническим программам. Осадки указанного типа могут прогнозироваться с достаточной долей достоверности.

6. Осадки, связанные с нарушениями в последовательности производства или в технологии выполняемых работ. Ошибки указанного типа не могут быть спрогнозированы, но могут быть предотвращены. В большинстве случаев предотвращение осадок указанного типа возлагается на авторский надзор, технический надзор Заказчика, а также на фирмы, осуществляющие мониторинг и научно-техническое сопровождение строительства.

7. Осадки, связанные с ударными или динамическими воздействиями. Могут прогнозироваться на основании данных численного моделирования и опытно-исследовательских работ, выполняемых непосредственно на строительной площадке.

8. Осадки, связанные с длительными процессами в прилегающем грунтовым массиве, природа которых часто не может быть достоверно выявлена. К осадкам данной

категории можно отнести осадочные процессы, связанные с утечками воды из подземных коммуникаций, суффозионные и карстовые процессы, "вековые" осадки и т.д. Осадки указанного типа могут прогнозироваться на основании длительных наблюдений за состоянием грунтового массива, изменением уровня грунтовых вод и геодезическими наблюдениями за существующими зданиями.

Таким образом, существует значительное количество возможных причин появления дополнительных деформаций существующих зданий при ведении в непосредственной близости от них нового строительства. Хорошо известно выражение: «Предупрежден - значит вооружен». Зная причины негативного влияния нового строительства на существующие здания, можно попытаться минимизировать их возможные деформации. Решение указанной задачи осуществляется путем численного моделирования влияния нового строительства на окружающую застройку, обобщения опыта строительства объектов-аналогов. Инженерный опыт, большая и кропотливая работа и немного везения - вот залог успеха при ведении строительства подземных сооружений в условиях тесной городской застройки. Предотвращение дополнительных деформаций не может быть достигнуто без тщательного контроля над всеми процессами на строительной площадке, ведением технического и научного сопровождения строительства. Минимизация влияния нового строительства также может быть осуществлена путем выполнения усиления фундаментов зданий окружающей застройки или их несущих конструкций.

## **2. Моделирования влияния строительства на окружающую застройку**

Достоверный прогноз влияния нового строительства на окружающую застройку является залогом дальнейшего безопасного строительства. В настоящий момент утвердилась мировая практика, когда новому строительству предшествует численное моделирование влияния нового строительства на окружающую застройку, выполняемое специализированными геотехническими фирмами.

Всем нам известна Кассандра - троянская царевна, дочь Приама и Гекубы. Влюбленный в Кассандру Аполлон наделил ее даром пророчества, но, отвергнутый ею, сделал так, что ее пророчествам никто не верил. И сейчас стоит вопрос, как сделать прогноз достоверным, чтобы проектировщики и эксперты верили ему. Для выполнения достоверного прогноза влияния возведения подземного сооружения на окружающую застройку перед проектировщиком в первую очередь возникает вопрос выбора программного обеспечения.

Большинству геотехников на настоящий момент очевидно, что численное моделирование должно осуществляться с использованием специализированного геотехнического программного обеспечения. Самой распространенной ошибкой является применение общестроительных пространственных конечно-элементных программ для описания механической работы грунта. В большинстве случаев такие программы реализуют упругие модели, которые в принципе не способны адекватно описывать упруго пластическую работу грунтов основания. Описание таких важных процессов как ползучесть, дилатансия или упрочнение грунтов при приложении нагрузки, общестроительными конечно-элементными программами вообще никак не может быть описано.

Достоверное численное моделирование обычно выполняется с использованием специализированного геотехнического программного обеспечения. Особенно широкое применение в РФ получила программа Plaxis. Уже больше десяти лет специалисты НИИОСПа и других организаций с использованием указанной программы выполняли численный прогноз, результаты которого в большинстве случаев хорошо коррелировались с данными последующего мониторинга. Программа Plaxis ориентирована на решение сложных геотехнических задач, возникающих на этапах строительства, эксплуатации и реконструкции сооружения. Указанный пакет программ позволяет решать задачи в плоской и пространственной постановке методом конечных элементов. Удобный интерфейс и развитая библиотека конечных элементов, в которой представлено большое количество моделей, описывающих механическую работу грунта, делают указанную программу универсальным инструментом инженера - геотехника. Проектными организациями используются и различные другие программные комплексы. Нельзя не отметить программу FLAC (Itasca Company), создавшую универсальный расчетный геотехнический инструмент, широко применяемый зарубежными специалистами и ООО «Инженерное бюро Юркевича» в России. Имеются и другие отечественные и зарубежные программные разработки. В городе С-Петербург ЗАО "НПО Геореконструкция-Фундаментпроект" разработала специализированную геотехническую программу FEM models, предназначенную для расчета любых по сложности строительных конструкций совместно с грунтовыми основаниями. Программа прошла достаточно большую апробацию в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Количество специализированных геотехнических программ растет, и большинство из них находят свою область применения.

Какие же данные и алгоритмы заложены в геотехническом программном обеспечении? В большинстве случаев решается задача плоской деформации в

упругопластической постановке. В программах заложено большое количество разнообразных геотехнических моделей от простейшей модели Кулона-Мора до более сложных шатровых моделей или моделей упрочняющихся сред. В настоящее время модель Кулона-Мора продолжает оставаться основной в арсенале Российского геотехника. При использовании указанной модели инженер- геотехник может использовать традиционные параметры, содержащиеся практически в любом отчете по данным инженерно-геологических изысканий (модуль общей деформации грунта, удельное сцепление, угол внутреннего трения и коэффициент Пуассона). Хорошо известны недостатки указанной модели, основным из которых является допущение о равенстве модуля общей деформации на стадии нагрузки и разгрузки. В задачах об экскавации котлована правильное описание процесса разгрузки является залогом получения надежного численного прогноза. Указанный недостаток может быть исправлен путем корректировки модели с попыткой описать процесс разгрузки или использовать более сложные модели. В этом случае их параметры должны определяться на основании специальных паспортов, полученных в результате стабилметрических испытаний. Использование упрочняющихся моделей позволяет учитывать изменение модуля общей деформации грунтов основания по глубине, более правильно описывать процессы нагружения и разгрузки грунтов.

В настоящий момент появляются трехмерные геотехнические комплексы, реализующие различные геотехнические модели. Результаты численного прогноза по таким программам в большинстве случаев применяются пока только при нахождении «в зоне влияния нового строительства» уникальных исторических объектов. В этом случае для полноты инженерной оценки ситуации моделирование с использованием трехмерных расчетных схем обычно сопоставляется с расчетами по программам, реализующим решение задач плоской деформации. В литературе описаны случаи трехмерного моделирования, учитывающие в полной мере конструктивные особенности зданий и наличие в их несущих конструкциях трещин, при строительстве в непосредственной близости заглубленных объектов. В своем обзорном докладе о сравнении различных методов расчета свайных фундаментов Пулос /1/ называл расчеты свайных фундаментов с использованием трехмерных элементов «инструментом на крайний случай». Очевидно, что пройдет небольшой промежуток времени, и такой подход будет пересмотрен. Проведение

***Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.***

***«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»***

нелинейных геотехнических расчетов в трехмерной постановке станет обычной практикой проектирования.

При проведении численного моделирования проектировщик должен построить адекватную расчетную схему, учитывающую основные конструктивные особенности как самого возводимого подземного сооружения или здания с глубокой подземной частью, так и существующих зданий и сооружений. В соответствии с /4/ расчетная схема должна выбираться с учетом наиболее существенных факторов, определяющих напряженное состояние и деформации основания и конструкций сооружения (статической схемы сооружения, особенностей его возведения, характера грунтовых напластований, свойств грунтов основания, возможности их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения и т.д.). Нормами рекомендовано учитывать пространственную работу конструкций, геометрическую и физическую нелинейность, анизотропность, пластические и реологические свойства материалов и грунтов. Численное моделирование в общем случае должно учитывать последовательность проведения работ по возведению заглубленного сооружения и технологию выполнения основных производственных циклов. Такой подход в нашей стране получил название «технологической механики грунтов».

Численное моделирование является достаточно тонким процессом, в полной мере зависящим от опыта инженера-геотехника. Проектировщик должен построить четкую расчетную схему, способную описать наиболее важные особенности механической работы конструкций, на которые оценивается влияние. Важно правильно описать работу ограждающих конструкций котлована, основные особенности их взаимодействия с окружающим грунтом. В расчетной модели должен быть отражен порядок возведения всех конструкций, с достаточной долей точности заданы величины нагрузок, передаваемые на основание. Для правильного описания работы по контакту «ограждение котлована-грунт» в расчетную модель обычно вводятся специальные интерфейсные элементы.

Ниже, на рис. 1, представлены результаты расчетов моделирования устройства подземного сооружения на окружающую застройку на стадии завершения строительства, а также показан этап строительства на стадии завершения экскавации котлована. Численное моделирование в указанном случае было использовано для обоснования возможности консольной схемы крепления котлована.

*Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.*  
**«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»**

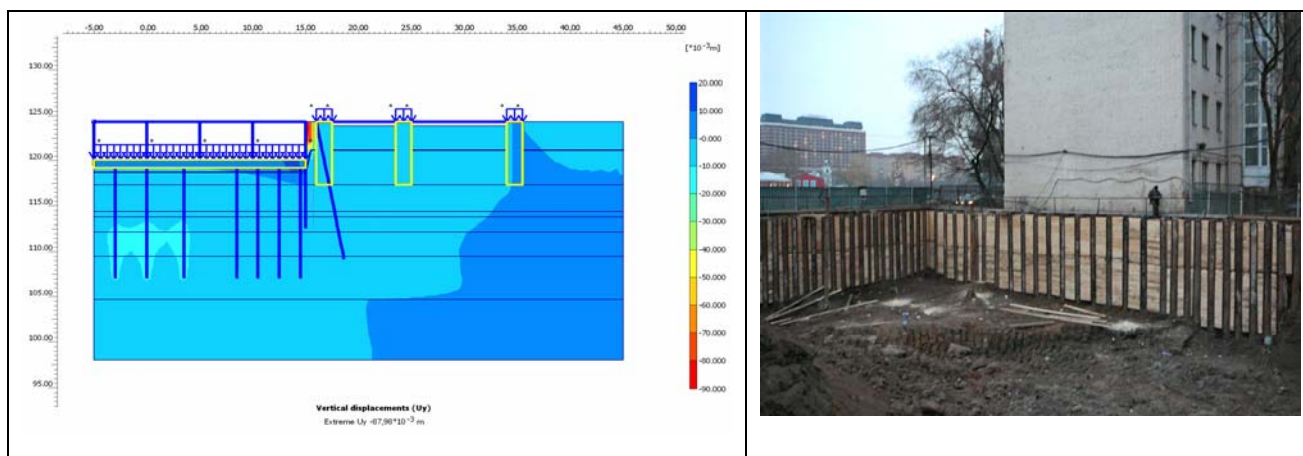


Рис. 1. Результаты численного моделирования и этап экскавации котлована.

На рис. 2 приведен пример моделирования по программе PLAXIS процесса устройства «стены в грунте» под защитой бентонитового раствора плотностью  $1,04 \text{ г/см}^3$ . В результате расчётов было получено, что при отсутствии рядом расположенных фундаментов и, соответственно, дополнительного давления на грунт, устойчивость стенок траншеи обеспечена.

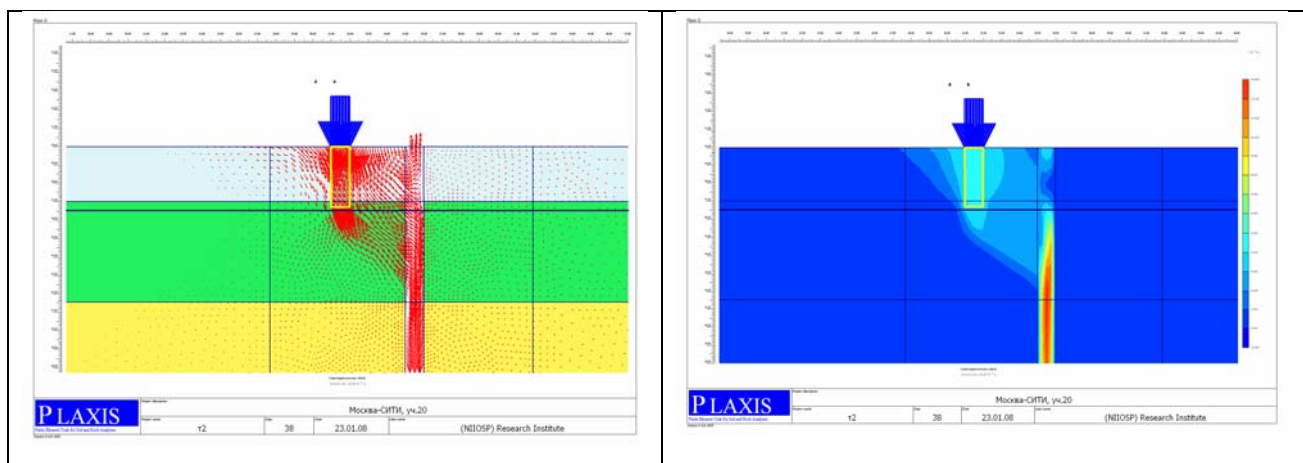


Рис.2. Потеря устойчивости грунта основания фундамента при устройстве «стены в грунте».

На рис. 3 представлены результаты расчёта перемещения грунта при устройстве анкеров. Принималось, что анкера имеют диаметр 150мм, а их устройства происходит с перебором около 9,5% от общего объема выбуриваемого грунта. Такая величина потерь грунта была получена НИИОСПом на основании обратного пересчета натуральных данных, полученных при устройстве анкеров при строительстве Турецкого делового центра.

В ходе проведенных расчетов принималось, что расстояние между анкерами составляет 2м, для моделирования из примыкающего к ограждению котлована грунтового

**Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.**  
**«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»**

массива условно выделялась двухметровая зона и в ней размещались анкера в соответствии с предпроектным решением. В результате расчётов было получено, что расчетная величина максимальной осадки дневной поверхности грунта при устройстве одного анкера составит 2мм, при устройстве 2-х анкеров – 4мм. На основании аналогичных расчетов при проектировании были получены графики зависимости осадок дневной поверхности грунта от расстояния между анкерами.

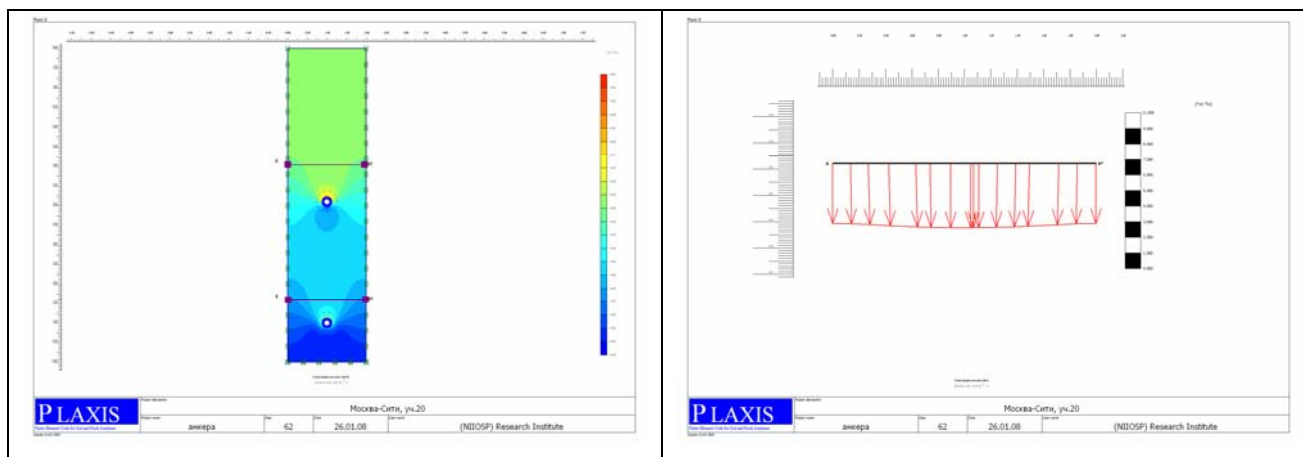


Рис.3 . Изополе перемещений грунта при устройстве анкеров и эпюра осадок дневной поверхности.

Важный вопрос проектирования состоит в адекватном задании геометрических и жесткостных параметров моделируемых конструкций. Расчетные схемы обычно строятся на основании данных обследования существующих зданий, в ходе которых определяется конструктивная схема существующих зданий, определяется глубина заложения фундаментов по результатам проходки шурфов. При этом в настоящий момент предпринимаются попытки учесть в зданиях наличие трещин, накопленных за время его существования. Пример такого подхода содержится в /5/. Описан пример расчета Базилики Массензио в Риме от влияния строительства новой ветки метро. Конструктивная схема базилики и глубина заложения ее фундаментов определялась на основании совместных усилий археологов, геотехников и специалистов по надземным конструкциям. При этом точные данные для введения в расчеты были получены в течение семилетнего периода (!). В указанном случае был проведен анализ по большому количеству плоских сечений, а также пространственный расчет, где в расчетную модель вводились существующие трещины в стенах здания. В результате расчетов было построено поле напряжений и деформации во всех основных конструкциях здания, что позволило выделить наиболее проблемные зоны для дальнейшего конструктивного анализа. Обычным же результатом численного моделирования влияния строительства на окружающую застройку является определение



расчетной величины осадки фундаментов, а также их относительной неравномерности. Таблицы допустимых величин обычно содержатся в местных строительных нормах. В России они разработаны в Москве /3 / и С-Петербурге /2 /. Указанные нормы строятся на обобщении местного опыта мониторинга. В указанных нормативных документах построены таблицы допустимых величин дополнительных осадок зданий в зависимости от их конструктивных схем, использованных строительных материалов, времени возведения здания. При составлении классификаций учитывается количество дефектов, накопленных зданием за время его существования, а также относится или нет рассматриваемое здание к памятникам архитектуры и исторической застройке. Учитывая повышенную социальную значимость указанных зданий, для них вводятся более жесткие требования по величине допустимых дополнительных деформаций. При этом степень износа несущих конструкций и фундаментов зданий и их основные дефекты выявляются на основании обследования, проводимого до начала строительства.

Важным вопросом является точность геотехнического прогноза, которая определяется на основании сопоставления данных мониторинга с численным моделированием. Во Франции имеется специальная база данных MOMIS, содержащая результаты по расчету и мониторингу для более чем 500 случаев. В основном, база данных содержит решения задач плоской деформации. Только для 9 % случаев проводился трехмерный анализ. На основании сопоставления указанных данных мониторинга и расчетов было получено, что ошибка в определении максимальной величины горизонтальных перемещений ограждающих конструкций котлована не превышает 50% по отношению к данным мониторинга. Ошибка в определении перемещений массива грунта за ограждающей конструкцией котлована может превышать 100% от замеренных величин. Отмечается, что точность определения усилий в элементах распорных конструкций значительно выше, чем при определении изгибающих моментов в ограждающих конструкциях котлована.

Аналогичные подходы создания специальной базы данных, содержащей задокументированные случаи наблюдения за осадками зданий окружающей застройки при устройстве подземных или заглубленных сооружений, развивались и НИИОСПом на всех крупных строительных площадках г. Москвы. Приведем некоторые результаты, полученные НИИОСПом при наблюдении за зданиями, примыкающими к 3-ему транспортному кольцу г. Москвы. На участке автодорожного тоннеля от Бакунинской ул. до площади Проломной заставы для семи зданий были применены защитные мероприятия в виде свай усиления или

отсечных экранов. При этом технологические осадки составили в среднем 3...10 мм, и на их долю приходится 20...40% общей осадки здания, включающей осадку от устройства подземной выработки или откопки котлована. Минимальные технологические осадки наблюдаются при использовании вдавливаемых свай, максимальные – грунтоцементных свай (рис.4).

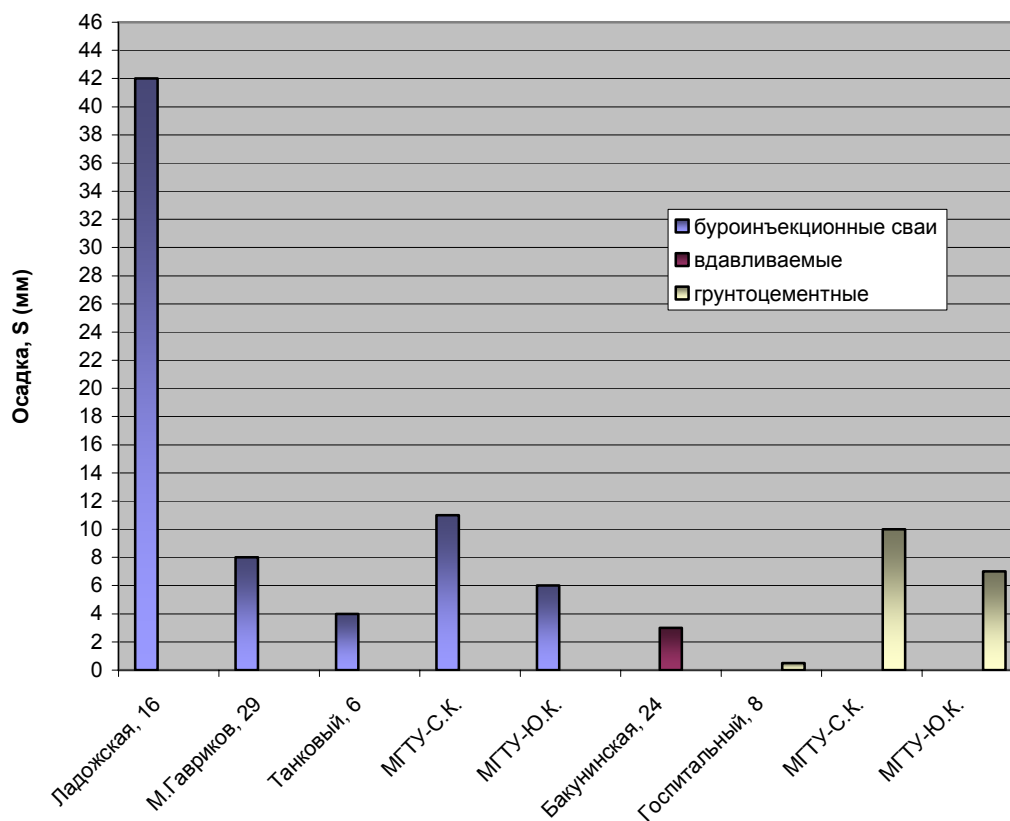


Рис. 4. Сравнение средних осадок зданий после усиления их фундаментов буринъекционными, грунтоцементными и вдавливаемыми сваями

Общие осадки зданий, фундаменты которых были усилены сваями различных конструкций, вблизи котлованов глубиной до 12 м и подземных выработок составили 15...30 мм. Исключение составило здание по адресу ул.Ладожская, д.16.

Работы по усилению буринъекционными сваями фундаментов здания по адресу: Ладожская,16, привели к значительным его осадкам вследствие того, что фундаменты здания с большим сроком эксплуатации оказались в аварийном состоянии, и произошла

осадка за счет разрушения тела фундамента (рис.5). Здание было взято в обойму в уровне цокольного этажа, что позволило обеспечить его устойчивость.



Рис.5 Здание по адресу: ул.Ладужская, 16,находящееся в зоне влияния котлована автодорожного тоннеля на участке 3-го транспортного кольца в Лефортово, после усиления его фундаментов буринъекционными сваями

На рис 6 показано, что заданные при проектировании величины дополнительных осадок зданий часто не могут быть достигнуты. Чаще всего это бывает связано с развитием значительных технологических осадок. Негативные процессы возникают в связи с неправильным видом способа усиления фундаментов или нарушениями в процессе производства работ. Ниже мы постараемся показать, как следует выбирать адекватный способ усиления фундаментов существующих зданий.

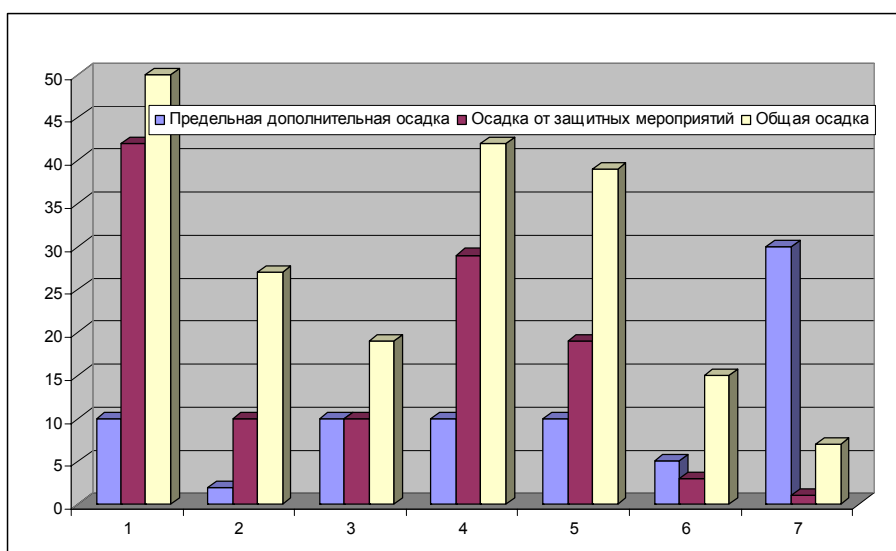


Рис. 6 Осадки зданий после устройства защитных мероприятий (1-ул.Ладужская, 16, 2-М.Гавриков пер., 29, 3 -Танковый пр., 6, 4 – Северный корпус МВТУ им.Баумана, 5- Южный корпус МВТУ им.Баумана, 6- Бакунинская ул., 24, 7-Госпитальный пер.,8)

*Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.*

*«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»*

### 3. Мероприятия по защите существующих зданий и сооружений

#### 3.1 Способы усиления оснований и фундаментов

После проведения численного моделирования может быть решен вопрос о необходимости усиления фундаментов или несущих конструкций существующего здания. На основании численного моделирования могут быть определены габариты «зоны влияния строительства», а также размеры участка, на котором необходимо проведение работ по усилению оснований и фундаментов.

В настоящее время имеется значительное количество способов усиления оснований и фундаментов зданий. В небольшой обзорной главе невозможно полно и детально отобразить все возможное многообразие этих методов. Оно достаточно подробно описано, например, в таких широко известных монографиях, как книга профессора П. А. Коновалова /6/ или монография /7/, обобщающая опыт Санкт-Петербурга. Дадим лишь краткую, не претендующую на полноту, оценку возможных методов усиления оснований и фундаментов, а также основных конструкций зданий.

1. Различные способы химического закрепления грунтов основания: силикатизация (однорастворная и двухрастворная), смолизация и цементация грунтов, закрепление материалами типа "Микродур".
2. Усиление фундаментов путем устройства буровых свай (микросвай).
3. Усиление фундаментов методом задавливания свай.
4. Усиление фундаментов и оснований с использованием струйной технологии по классической технологии и технологии типа Mini-jet или Mono-jet.
5. Способы устройства отсечных экранов или геобарьеров.
6. Армирование оснований.
7. Различные способы компенсационного нагнетания.
8. Увеличение опорной площади фундаментов, подведение железобетонных плит.
9. Изменение конструктивной схемы здания, устройство металлических поясов и тяжей. Один из вариантов такого усиления приведен на рис. 7.
10. Изменение конструктивных решений подземной части возводимых зданий или способа проведения работ по экскавации устраиваемого котлована на участке примыкания к существующему зданию.



Рис. 7. Метод усиления надземной конструкции здания металлическими тяжами в действии.

Численное моделирование позволяет уточнить проектные решения по усилению оснований и фундаментов существующих зданий. В случае применения буроинъекционных свай могут быть определены требуемая величина заглубления нижнего конца свай, а также расчетные величины усилий в сваях усиления. Могут быть определены требуемые габариты зоны, где выполняется химическое закрепление грунтов.

Выбор типа усиления фундаментов зданий, вообще говоря, относится к инженерному искусству. Это связано с тем фактом, что усиление фундаментов обычно сопряжено с проявлением «технологических» осадок. Технологическими называют осадки, связанные со способом работ по устройству строительных конструкций. Поэтому специалистам-геотехникам всегда приходится решать вопрос о том, как выполнить работы по усилению оснований или фундаментов, оказывая наименьшее влияние на усиливаемое здание в процессе усиления.

Очевидно, что все указанные выше способы имеют свои достоинства и недостатки. Первое, что всегда определяет возможный способ закрепления грунтов по различным технологиям, являются инженерно-геологические условия площадки строительства. На схеме, представленной на рис. 8, показано в каких грунтах могут применяться различные способы закрепления грунтов.

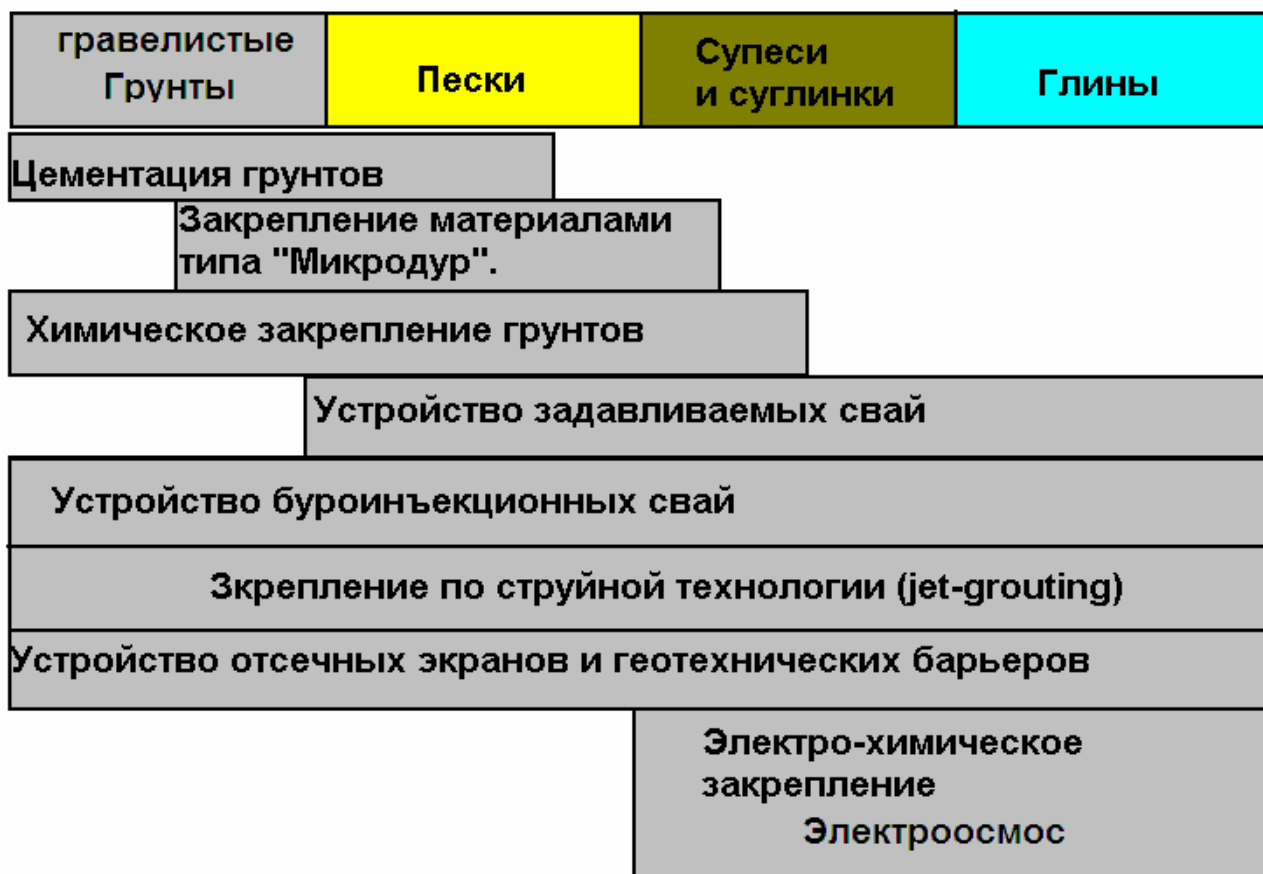


Рис. 8 . Возможность применения различных способов усиления оснований и фундаментов в зависимости от грунтовых условий.

Из приведенной выше схемы видно, что применение буроинъекционных свай является универсальным способом производства работ. Имеется огромное количество вариаций в использовании указанного способа. Сваи РИТ (выполняемые по разрядно-импульсной технологии), сваи «ГЕО», сваи, устраиваемые по технологии CFA, и другие способы устройства буроинъекционных свай давно находятся в арсенале инженера-геотехника. К недостаткам указанного способа стоит отнести, что сваи указанного типа обладают относительно небольшой жесткостью, а при их изготовлении часто возникают значительные по величине технологические осадки. Для уменьшения величины технологических осадок сваи начинают использоваться новые строительные технологии, когда сваи устраиваются теряемыми буровыми штангами (сваи Titan и Gevi /14/). Буровые штанги сначала используются для бурения, а затем служат армирующим элементом устраиваемых свай. В качестве бурового раствора применяют цементный раствор, который после твердения формирует тело сваи. К недостаткам способа следует отнести высокую стоимость буровых штанг импортного производства. Освоение отечественными заводами

*Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.*  
*«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»*

указанной технологии позволяет существенно снизить стоимость изготовления свай, сделав способ конкурентоспособным.

На показанной выше схеме видно, что большинство способов химического закрепления грунтов применимо только в песчаных грунтах. При этом при выборе рациональной схемы и формы закрепленного основания должны учитываться гидрогеологические условия участка, недооценка которых может привести к серьезным последствиям /11/. Нерациональное химическое закрепление грунтов может привести к снижению несущей способности основания и к значительным осадкам, что не раз было доказано при усилении оснований зданий в Москве.

Изменение конструктивной схемы здания вообще является крайне проблематичным техническим решением, поскольку может быть изменен архитектурный облик здания, а устройство тяжелей в квартирах, в которых находятся люди, почти всегда проблематично.

Сами способы усиления оснований продолжают совершенствоваться. Возникают новые различные способы, которые не использовались до настоящего времени. Ниже представлена краткая информация по указанным способам.

### **3.2 Закрепление грунтов с использованием технологии jet-grouting**

Устройство буровых свай и закрепление грунтов по струйной технологии (jet-grouting) может выполняться в грунтах всех видов. Эта технология, заключающаяся в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивании грунта с цементным раствором. После твердения раствора образуется новый материал - грунтобетон, обладающий высокими прочностными и деформационными характеристиками. Для условий России указанный способ не является совсем новым. Существовал обширный опыт применения указанной технологии в странах бывшего СССР. Это опыт обобщен в монографии Бройда /16 /. Модернизация и новая жизнь указанного способа связана с появлением в РФ нового западноевропейского и японского технологического оборудования. Первый опыт применения указанной технологии был не всегда удачным. Производство работ вызывало значительные технологические осадки. В глинистых грунтах получаемый грунтоцементный материал может набирать прочность крайне продолжительное время, в связи с чем в большинстве случаев требуется разработка достаточно жесткого технологического регламента. Не учет этих условий привел к возникновению аварийных ситуаций на ряде объектов. Само

производство работ в этом случае может быть сопряжено с чрезмерным расходом цемента. В настоящий момент продолжается совершенствование указанного способа. Появляются способы устройства jet- свай, аналогичные рассмотренной выше технологии Titan и Gevi. При использовании струйной технологии такие способы получили название Mini-jet и Mono-jet. Проведение работ по указанным технологиям может существенно снизить величину технологической осадки, поскольку указанные технологии не требуют погружения арматурных каркасов, а диаметр больше чем при устройстве буринъекционных свай.



Рис. 9. Опытные сваи, устроенные по технологии «MINIJET»  
(фотография из проспекта «Minijet»)

Когда величина технологической осадки становится критичной, с точки зрения сохранения существующих зданий, возникает необходимость проведения опытных работ на строительной площадке. На рис. 10 показано проведение подобных испытаний, которые выполнялись НИИОСПом на объекте по адресу: г. Москва, ул. Викторенко, дом 3. На указанной площадке выполнялись работы по закреплению грунтов основания жилого дома по технологии «Микродур» вблизи строительства офисного центра с 5-ти этажной подземной частью. Проведение указанных работ вызвало значительные по величине технологические осадки фундаментов существующего здания - более 2 см. В результате такого выполнения работ существующее здание получило значительные повреждения, в его стенах возникли многочисленные трещины. Возникло подозрение, что площадка имеет особенности, которые не были выявлены в ходе изысканий. Решено было проверить

*Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.  
«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих  
зданий и сооружений»*



возможность безосадочного выполнения работ на рассматриваемой площадке на опытном участке. Выбор способа усиления проводился из нескольких возможных вариантов. Были сооружены специальные опытные стенды из железобетонных плит и проведены работы по устройству буроинъекционных свай, манжетной цементации грунтов основания, и закреплению грунтов по технологии jet-grouting. Далее проводились работы по контролю качества выполненных конструкций усиления. При этом проведенные работы показали неэффективность закрепления грунтов с использованием манжетной цементации. При устройстве буроинъекционных свай у фирмы-производителя работ возникли сложности с погружением арматурных каркасов, в результате чего тело сваи перебуривалось. По указанным причинам усиление зданий было выполнено с использованием технологии jet-grouting. Окончательное проектное решение было разработано ООО «Инженерное бюро Юркевича» и выполнено по технологии фирмы ЗАО «ИНЖПРОЕКТСТРОЙ» с использованием технологии mini-jet и классической технологии jet-grouting. При этом в окончательном варианте величина технологической осадки при усилении не превысила 5 мм.



Рис. 10. Работы на опытной площадке по устройству jet-свай

### 3.3 Метод компенсационного нагнетания

В последнее время в Москве началось применение нового метода защиты зданий при новом строительстве – геотехнический барьер в вертикальной или наклонной плоскости, выполняемый по методу компенсационного нагнетания (патент РФ №2245428).

*Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.  
«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих  
зданий и сооружений»*

Геотехнический барьер представляет собой систему инъекторов, установленных в грунте, через которые производится закачка цементного раствора по манжетной технологии /12,13,14/. При применении указанного метода до начала строительства производится разовая закачка цементного раствора - заполнительная цементация. В процессе возведения подземного сооружения ведется контроль осадок защищаемого сооружения и напряженно-деформированного состояния массива грунта, при изменении которых производят дополнительную закачку цемента через инъектора до восстановления начального НДС грунта, используя методы компенсационного нагнетания. Таким образом, отличительной особенностью данного мероприятия является то, что геотехнический барьер – активная конструкция, с помощью которой можно оперативно влиять на состояние грунта основания фундаментов защищаемых зданий.

Заполнительная цементация и компенсационное нагнетание осуществляются по манжетной технологии небольшими объемами по 25 – 30 литров цементного или цементно-песчаного раствора с различными добавками через 30 см по высоте инъектора, многократно (до 10 раз) в одно и то же место. Главным условием при нагнетании является закачка требуемого количества раствора в нужную зону массива грунта. Заполнительная цементация производится при давлении от 0,1 до 0,3 МПа (давление увеличивается с увеличением глубины зоны закачки раствора) до начала работ по устройству подземного сооружения (выработки). По результатам мониторинга производятся циклы компенсационного нагнетания, давление нагнетания - 0,5...2,0 МПа.

Вертикальный геотехнический барьер допустимо применять в следующих случаях:

- между фундаментами существующих зданий и котлованом возводимого подземного сооружения в условиях плотной городской застройки (рис. 11а);
- для снижения взаимного влияния зданий (рис. 11б);
- между фундаментами существующих зданий и тоннелями подземной проходки (рис. 11в);

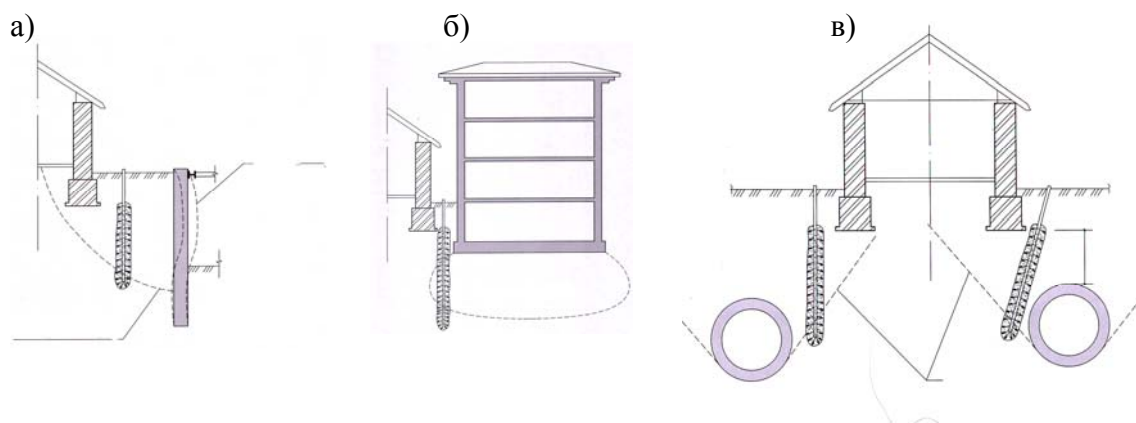


Рис. 11. Защита фундаментов существующего здания с помощью геотехнического барьера

На практике можно использовать различные модификации барьера и комбинации его с другими защитными мероприятиями.

Например, для защиты существующих зданий от устройства котлована или траншеи может быть применена разделительная стенка из труб, усиленная или совмещенная с геотехническим барьером, расположенным в вертикальной или наклонной плоскостях. Инъекция раствора осуществляется через инъекторы барьера и отверстия в трубах разделительной стенки. Последняя может быть заменена на зону закрепленного грунта (любым известным способом) для минимизации влияния процессов нагнетания на ограждающую конструкцию. Геотехнический барьер может устраиваться в вертикальной плоскости или быть наклонным, при этом возможно чередование инъекторов под различными углами наклона и т.д.

В качестве другого возможного мероприятия для защиты зданий от суффозионных процессов и пьвунов может быть использована, например, противofильтрационная завеса. В НИИОСП им. Н.М.Герсеванова разработана конструкция щели в грунте толщиной от 15 до 40см (патент РФ №.52416), которая может быть использована в качестве такой противofильтрационной завесы (рис.12, 13).

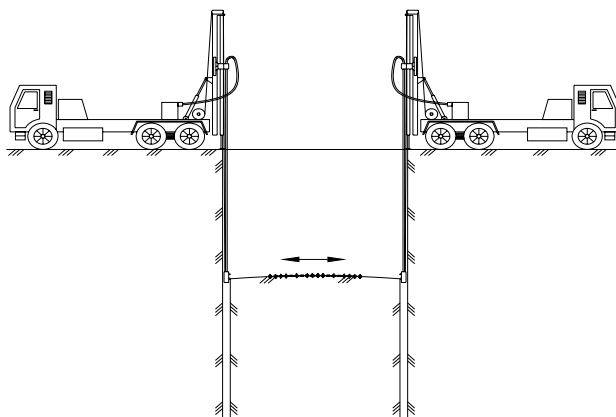


Рис. 12. Установка для прорезания грунта

Цепь с закрепленными на ней резами прикрепляется с двух концов (через специальные переходники) к тросам двух буровых установок. Через эти же переходники осуществляется подача глинистого (бентонитового) раствора. Разрушение грунта происходит при возвратно-поступательном движении цепи. После подготовки щели она заполняется бентонитовым или цементно-бентонитовым раствором (может бетонироваться). Кроме указанного способа использования, данная конструкция может применяться в качестве защиты от лесных или торфяных пожаров, а также для изоляции территории, пораженной экологически вредными веществами (поля аэрации, полигоны бытовых отходов и т.д.).



Рис. 13. Цепь установки для прорезания грунта

*Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.  
«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих  
зданий и сооружений»*

#### 4 Защита существующих зданий от аварийных ситуаций

Не смотря на все усилия проектировщиков, ученых и геотехников при строительстве заглубленных сооружений могут возникать аварийные ситуации. В основном они бывают связаны с ошибками в проектировании. Например, в результате допущены ошибки проектирования ограждающая конструкция котлована может оказаться недостаточно прочной или устойчивой. При строительстве это приводит к значительным перемещениям самой ограждающей конструкции котлована, а в некоторых случаях и к ее обрушению. К ошибкам проектирования также может быть отнесена недостаточная изученность инженерно-геологических условий площадки строительства, что не дает возможности учесть в проекте все возможные риски геотехнического строительства. Так, при щитовой проходке по ул. Б. Дмитровка в Москве в 2000г. имел место провал грунта глубиной свыше 5м /15/. Эта авария произошла вследствие недостаточной изученности инженерно-геологических условий, поскольку расстояние между изыскательскими скважинами превышало регламентированное нормами расстояние. В связи с этим при изысканиях не был вскрыт плавун, который и привел к указанной аварии.

Еще одним примером ошибки проектирования, вызванной недостаточной изученностью инженерно-геологических условий, является устройство котлована рядом с существующим зданием по адресу: ул. Мясницкая, д.11, в г. Москве. Рядом со зданием устраивался опускной колодец в плавунных песках. Технология устройства колодца предполагает вибрационные воздействия, которые в плавунных грунтах вызвала существенные деформации, которые проявились в осадках земной поверхности и фундаментов близлежащего здания. В результате работ здание было признано аварийным и впоследствии разобрано.

Другая возможная причина аварийных ситуаций – неудовлетворительное качество выполнения работ. Следует иметь в виду, что работы по устройству глубоких котлованов (свыше 5м) можно отнести к сложным видам геотехнических работ, которые должны выполняться в строгом соответствии с разработанной технологией под контролем проектной организации и представителей Заказчика. В целом можно отметить, что работы по проектированию и устройству глубоких котлованов в очень большой степени зависят от квалификации проектировщиков и производителей работ.

Возможно также сочетание нескольких неблагоприятных факторов, которые приводят к аварийным ситуациям. Так, например, на площадке строительства многофункционального комплекса с подземной автостоянкой по адресу: Ленинградский пр-

т, вл.39, произошел провал поверхности грунта глубиной около 6-ти метров при протяженности провала около 20 м. Ограждающая конструкция котлована была устроена в виде монолитной железобетонной «стены в грунте» толщиной 0,8м, глубиной 24м (рис. 14). Устройство «стены в грунте» выполнялось захватками по 2,2м под защитой бентонитового раствора, бетонирование осуществлялось методом ВПТ (вертикально перемещаемой трубы).

Следует отметить, что мониторинг проводился в неполном объеме, в частности, не велись наблюдения за состоянием водонесущих коммуникаций, уровнем подземных вод и перемещением окружающего массива грунта. Кроме этого, не выполнялся анализ результатов мониторинга: имела место несоизмеримая с перемещениями «стены в грунте» осадка фундаментов расположенного рядом крытого теннисного корта, на что следовало обратить внимание.

При устройстве «стены в грунте» имело место нарушение технологии, на что указывали дефекты: местами отсутствовал защитный слой бетона, имелись участки протечек и прорыва через так называемые «холодные швы» бетонирования. Участки прорыва подземных вод сквозь «стену в грунте» в различных местах в плане и по высоте стали причиной возникновения механической суффозии в грунтовом массиве, представленном водонасыщенными песками, что, вызвало деформации подземных водонесущих коммуникаций и их прорыв. Поток водопродной воды вынес водно-песчаные массы внутрь котлована, вследствие чего снаружи «стены в грунте» произошло образование суффозионной воронки.



Рис. 14 . Провал грунта на Ленинградском проспекте.

Вблизи площадки строительства (со стороны образовавшего в результате аварии провала) расположено здание Фонда М.С.Горбачева. Для его защиты была запроектирована и устроена разделительная стенка из свай диаметром 300мм, выполненных с шагом 400мм и армированных трубой диаметром 273мм, между сваями была выполнена инъекция цементного раствора. Эта разделительная стенка позволила избежать осадок фундаментов и деформаций конструкций здания Фонда.

Описанная выше конструкция разделительной стенки достаточно надежна и может быть рекомендована для защиты зданий от аварийных ситуаций. Для усиления ее работы одноразовая инъекция цементного раствора может быть заменена на многоразовую инъекцию, выполняемую по манжетной технологии в соответствии положениями СТО НИИОСП им. Н.М.Герсеванова /8/. Такую конструкцию (шпунтовая стенка, усиленная геотехническим барьером) планируется выполнить в качестве защиты от осадок фундаментов зданий и памятника А.С.Пушкину на объектах «Транспортная развязка и торгово-досуговый центр «Тверской» с подземной четырехуровневой автостоянкой» на Пушкинской площади в Москве и на площади Беларускаго вокзала.

Технология выполнения разделительной стенки из шпунта должна быть такой, при которой технологические осадки были бы минимальными или сведены к нулю. Например,

**Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.**  
**«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»**

бурение скважин должно осуществляться методом «полого шнека» (технология CFA) с обязательным автоматическим контролем давления в нижней части рабочего инструмента. В особо ответственных случаях устройство разделительной стенки должно предваряться выполнением защитного геотехнического барьера.

Во многих случаях аварийные ситуации можно предотвратить, если профессионально и в полном объеме проводить мониторинг площадки строительства заглубленных сооружений. Он имеет существенное значение, поскольку дает возможность получать оперативную информацию о возможных изменениях в состоянии ограждающей конструкции, грунтовом массиве, конструкциях существующих зданий и сооружений, в том числе подземных водонесущих коммуникаций.



### Литература

1. H.G.Poulus, J.C.Small, L.D.Ta,J.Sinha,L. Chen //Comparison of some methods for analyses of piled rafts.- Proceedings of the 14-th conference on soil mechanics and foundation engineering. Hamburg.- 6-12 September 1997.-vol 2. p 1119-1124.
2. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.//Правительство Санкт-Петербурга. С-Петербург 2004 г.
3. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения.// Утверждены Правительством Москвы постановлением от 22.04.2003 г. № 288-ПП . Москомархитектураю-Москва – 2003 г.
4. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений.Москва 1995
5. A.Burghignoli, W. Lacarbonara,F.M. Soccodato & F. Vestoni, G.Viggiani A study of the response of monumental and historical structures to tunneling. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground.-Bakker et al(eds).- 2006 Taylor & Francis Group, London. Balkema p 487-493.
6. П.А. Коновалов. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. ВНИИНТПИ, 4-е издание. Москва, 2000 год.
7. Р.С.Санжировский, Д.О Астафьев, В.М.Улицкий, Ф. Зибер.. Усиления при реконструкции зданий и сооружений. Устройство и расчеты зданий при реконструкции. Санкт-Петербург.1998 г.
8. СТО 36554501-007-2006.- Проектирование и устройство вертикального или наклонного геотехнического барьера методом компенсационного нагнетания. ФГУП «НИЦ «Строительство.- Москва, 2006 г.
9. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований зданий и фундаментов зданий и сооружений.- Москва, 2005 г.
10. Ph. Mestat. Y.Riou. New developments of the Momis database applied to the performance of numerical modeling of underground excavations. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground.-Bakker et al(eds).- 2006 Taylor & Francis Group, London. Balkema p 487-493.
11. В.Е. Соколович. Химическое закрепление грунтов. Москва.-Стройиздат 1980 г.

***Разводовский Д.Е., Шулятьев О.А, Никифорова Н.С.***

***«Оценка влияния нового строительства и мероприятия по защите существующих зданий и сооружений»***

12. Шулятьев О.А., Мозгачева О.А.- Вертикальный геотехнический барьер по методу компенсационного нагнетания. Юбилейный сборник трудов НИИОСП им. Н.М.Герсеванова. - Москва, 2006 г.
13. Petrukhin V.P., Shuljatjev O.A., Mozgacheva O.A. 2005. Vertical Geotechnical Barrier Erected by Compensation Grouting: 5-й междун. симпозиум Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground 2005. TS28 Amsterdam.
14. Новые пути в анкерной технике. Проектирование и расчет. Анкерные сваи ISCHEBECK. «ТИТАН». Рекламные материалы фирмы ISCHEBECK (Германия). 2006 г.
15. Ильичев В.А., Петрухин В.П., Джантимиров Х.А., Исаев О.Н, Панкина С.Ф., Гильштейн С.Р. Авария при проходке коллекторного тоннеля в г. Москве. Региональная конференция «Геотехнические аспекты строительства в мягких грунтах». Шанхай, 2001г.
16. И.И. Бройд . Струйная геотехнология. – Издательство ассоциации строительных вузов. Москва, 2004 г.