

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Ассоциация московских вузов
Московский Государственный Строительный Университет

Кафедра Высотного строительства

11.8.5.1 Научно – образовательный материал
«Проектирование оснований, фундаментов
и ограждающих конструкций высотных
зданий с развитой подземной частью»

Конспект подготовил проф., д.т.н

З.Г. Тер-Мартirosян
Ю.С. Теплова

Москва 2009г.

Содержание

1. Геотехнические задачи этапа проектирования.....	3
1.1. Законодательная база.....	3
1.2. Получение разрешений.....	4
1.3. Исследование почвы и фундамента.....	4
1.4. Модель участка.....	5
2. Общие положения по проектированию оснований, фундаментов высотных зданий	5
3. Основные требования к инженерно-геологическим изысканиям и обследованиям площадки строительства высотного здания, включая окружающую застройку.....	6
4. Выбор типа фундаментов и ограждающих конструкций в зависимости от ИГ и ГГ условий площадки строительства....	7
4.1. Варианты фундаментов.....	8
4.2. Отдельный фундамент.....	9
4.3. Свайный фундамент.....	11
4.4. Комбинированные решения.....	12
5. Современные методы расчета НДС массива грунта, вмещающего конструкции подземной части ВЗ на плитном фундаменте.....	12
6. Деформация недр при возведении высотного здания.....	14
7. Современные методы расчета ограждающих конструкций котлована с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом.....	15
8. Защита котлована от затопления.....	16
9. Опасные геологические процессы (ОГП) и их влияние на подземную и подземные части ВЗ.....	18
10. Геотехнический мониторинг.....	18
10.1. Нормы.....	18
10.2. Измерительные приборы.....	20

1. Геотехнические задачи этапа проектирования.

1.1. Законодательная база

Строительная площадка - это место, где сосредоточены самые важные ресурсы многих высотных проектов. Заказчик несет все риски, связанные с состоянием площадки и ее недр.

В этом контексте очень важную роль играют следующие три аспекта:

- грунт и подземные воды, средство передачи нагрузки от нового здания;
- грунт и подземные воды как фактор окружающей среды;
- грунт и подземные воды как материал и термальный ресурс (фактор консервации ресурсов).

Инженеры-геотехники выполняют две роли: экспертов-консультантов и проектировщиков. Эти две роли отличаются друг от друга с точки зрения ответственности. Если консультант и проектировщик несут одинаковую ответственность за точность, техническое качество, безопасность и эффективность своих решений, эксперт-консультант также принимает на себя задачу минимизации рисков, связанных с почвой, для заказчика.

эксплуатационную пригодность здания (лифты, подача воды и т.д.), но и статические или внутренние силы несущей системы, а значит, и надежность всей системы.

Для строительства высотных зданий как правило, требуются глубокие котлованы. Там, кроме давления грунтовых вод, на ограждение котлован, действует давление почвы.

Ввиду такого комплексного взаимодействия между почвой и зданием, необходимости обеспечения безопасности строительства строения и глубоких внутригородских котлованов, все фундаменты высотных зданий и требующиеся для них котлованы классифицируются как особенно сложные геотехнические задачи категории, требующие соблюдение правил ЕС7 по геотехнической категории сложности GK3. Эта классификация указывает, что геотехническое планирование и анализы стабильности и способности к деформации должны выполняться в несколько этапов в виде закрытого контрольного цикла. Два дополнительных элемента безопасности, включенные в процесс работы по проекту, позволяют производить своевременные изменения и адаптации систем:

- независимая геотехническая проверка оценок, моделей, подсчетов стабильности и деформации;

- геотехнический мониторинг на всем протяжении строительства, позволяющий производить модификации или адаптации системы (методы контроля).

Для высотных проектов оба эти элемента являются обязательными, обеспечивающими стабильность и эксплуатационную пригодность здания.

1.2. Получение разрешений

Для всего процесса в целом важное значение имеют следующие этапы:

- основной сбор данных, определение технической и экономической жизнеспособности проекта;
- предварительное планирование до предоставления запроса на получение разрешения на проведение строительства, план строительства;
- предоставление запроса на получение строительного разрешения;
- планирование исполнения и выпуск тендерных документов на осуществление строительных услуг, выбор исполняющих организаций;
- начало строительства, завершение строительства и сдача здания в эксплуатацию;
- завершение дополнительного мониторинга (геотехнический мониторинг).

Эксперты-геотехники должны участвовать в процессе контроля до окончательной деформации почвы. В зонах с уязвимым состоянием почв этот процесс может занимать до пяти лет или более после окончания строительства.

1.3. Исследование почвы и фундамента

В Германии заказчик обязан обеспечить разработчиков проекта и все выполняющие компании и подрядчиков полной информацией об участке. Для этого большинство заказчиков нанимают экспертов-геотехников, задача которых состоит в исследовании, тестировании и оценке почвы строительной площадки. Для составления полной информационной картины состояния почвы данного участка. Такое изучение должно включать:

- четкое, трехмерное послойное представление грунтов;
- классификацию существующих грунтов;
- детальное описание состояния грунтовых вод, включая долговременные изменения и гидрогеографические взаимодействия (взаимодействия между почвой и подземными водами);

- описание возможного содержания в почве и грунтовых водах химических элементов, их тип, концентрация, распространение, динамика и влияние этого химического элемента (потенциальное загрязнение).

Данные такого исследования грунта объединяются с результатами геотехнических полевых и лабораторных тестов и исследований окружающей среды. Общее представление данных участка в их пространственном и интерактивном контексте (модель участка) является результатом фазы.

1.4. Модель участка

Моделью участка называется полное трехмерное изображение состояния недр, созданное на базе всей информации об участке, собранной в процессе изучения, исследований, полевых и лабораторных работ. Такая модель обеспечивает убедительный обзор всей значимой информации об участке и создает основу для оценки и подсчета взаимодействий между этими данными и следующими элементами:

- знаниями о предыдущем использовании участка (здание, тип использования, предыдущие нагрузки);
- типом и распределением возможных химических нагрузок в почве или подземных водах (источниками загрязнения и потенциальным воздействием);
- существующими изменениями и инфраструктурой окружающих территорий;
- трехмерной моделью поверхности и структурой слоев;
- гидрогеологическим анализом;
- механикой почвы и горных пород слоях недр.

Для комплексных строительных площадок модель площадки иногда дополняется системой географической информации с несколькими информационными уровнями. Эта модель идет дальше границ строительной площадки и выявляет возможные деформации, вызванные строительством. Модель является базой для планирования проекта, в частности, для определения размеров, стабильности подсчета деформации.

2. Общие положения по проектированию оснований, фундаментов и ограждающих конструкций высотных зданий с развитой подземной частью.

Отличительные особенности оснований, фундаментов и ограждающих конструкций высотных зданий: высотой более 70м; большая площадь опоры

(более 500м^2); глубина заложения (котлована) до 30м; среднее давление под подошвой фундамента до 1000кПа; глубина активной зоны основания под подошвой фундамента – не менее половины ширины плитного фундамента.

При проектировании оснований, фундаментов и ограждающих конструкций необходимо учитывать их взаимное влияние окружающего массива. Основное требование к расчету НДС этой системы заключается в определении неравномерной осадки фундаментной плиты (крена), что обуславливает отклонение верха высотного здания $f < f_u$. Причем $f_u / h = 1/500$ при $h = 150\text{ м}$; $f_u / h = 1/100$ при $h \leq 500\text{ м}$.

Кроме того, необходимо обеспечить минимальные деформации окружающих зданий и коммуникаций.

Суммарное максимальное напряжение под подошвой фундамента от действия внешней нагрузки и собственного веса грунта ($\sigma_{zp} + \sigma_{zg}$) может достичь 2000 кПа.

Необходимость устройства ограждающих конструкций котлованов глубиной до 30м при строительстве высотных зданий в стесненных условиях мегаполисов.

Влияние строительства высотных зданий в глубоких котлованах на окружающие здания и подземные коммуникации на расстояние $3 \div 5h$ котлована.

Возможность всплытия подземной части здания в период строительства нулевого цикла при $\sigma_{zp} < \gamma_w \cdot h$. Влияние водопонижения внутри котлована и за ограждающими конструкциями на НДС окружающего массива.

Влияние строительства высотных зданий с развитой подземной частью на гидрогеологический режим окружающей территории и возможность ее затопления (барражный эффект).

Влияние строительства высотных зданий на активизацию опасных геологических процессов, в том числе: суффозию, карст, разжижение водонасыщенных песков.

3. Основные требования к инженерно-геологическим изысканиям и обследованиям площадки строительства высотного здания, включая окружающую застройку.

Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания должны содержать всестороннюю оценку участка строительства ВЗ, необходимую для принятия конструктивных решений подземной части ВЗ, в том числе

литологическое строение, гидрогеологические условия и таблицы физико-механических свойств грунтов.

Составление программы инженерно-геологических изысканий, в том числе испытания грунтов в полевых и лабораторных условиях в зависимости от конструктивных особенностей высотных зданий (этажность, подземная часть) с учетом исходного НДС грунтового массива, вмещающего подземную часть.

Составление программы обследований существующих зданий и подземных коммуникаций на расстояние $3 \div 5h$ от бровки котлована. Организация и проведение мониторинга состояния окружающей застройки в период строительства высотного здания.

Анализ результатов ИГ изысканий и определение основных расчетных параметров деформируемости и прочности грунтов массива, вмещающего подземную часть высотного здания и основания окружающей застройки.

Построение геомеханической расчетной модели массива, вмещающего подземную часть высотного здания и основания существующих окружающих зданий и составление предварительного прогноза развития опасных геологических процессов в период строительства и эксплуатации высотного здания.

Анализ результатов ИГ изысканий и обследований окружающей застройки для принятия предварительного решения конструкций фундамента и ограждения котлована.

Суффозионно-карстовая опасность, циклические и вибрационные воздействия (ветер, транспорт). Подтопление подземного пространства (барражный эффект).

4. Выбор типа фундаментов и ограждающих конструкций в зависимости от ИГ и ГГ условий площадки строительства.

Плитные фундаменты, сплошные и разрезные. Определение толщины плитного фундамента из условия его продавливания.

Плитно-свайные фундаменты с использованием различных видов свай (забивные, буронабивные, сваи РИТ, барреты). Технология изготовления свай.

Ограждение стен котлована металлическими шпунтами Ларсена и технология их устройства вибропогружателями.

Ограждение стен котлована металлическими трубами диаметром 320-500мм с заданным шагом и технология их погружения и устройства заборов из

досок. Заполнение промежутка между досками и откосом котлована тощим бетоном.

Ограждение стен котлована с применением буросекущихся свай диаметром 600-1200мм в зависимости от глубины котлована, изготовленных по технологии буронабивных свай, РИТ или струйной технологии.

Расчет и устройство распорных конструкций из металлических труб для восприятия давления грунта на стены котлована. Расчет и устройство анкеров.

Устройство противодиффузионной завесы за ограждающей конструкцией котлована или в основании котлована с целью минимизации притока воды в котлован.

Фундамент является промежуточным звеном между вертикальной несущей структурой высотки и землей. Основная задача - безопасно перераспределить нагрузки высотного здания при минимально возможных деформациях грунтов. Коэффициент сплюснутости H/W = высота фундаментной несущей площади/наименьшая ширина плиты - является одним из критериев стабильности высотки. Система фундамента должна быть спроектирована так, чтобы обеспечить достаточную внешнюю стабильность всей системы и поддерживать внутреннюю несущую способность компонентов здания через доведение этих компонентов до соответствующих размеров. Эксплуатационная пригодность здания должна быть гарантирована без ограничений на всем протяжении его существования.

Одной из ведущих задач является подсчет деформации. Допустимые пределы наклона очень низки для высотных зданий. Для предотвращения непреднамеренного уклона высотки в результате внецентровой передачи нагрузки на почву на всем протяжении осуществления проекта необходимо центрировать все результаты нагрузки в центре тяжести фундаментной плиты. На практике, тем не менее, внецентровая передача нагрузки представляется неизбежным явлением из-за примыкающих низкоэтажных конструкций и подземных гаражей. В прошлом настройка деформации для предотвращения уклона высотных зданий была довольно частым явлением.

4.1.Варианты фундаментов

Существуют следующие варианты фундаментов, передающие тяжелые нагрузки высотных зданий в почву:

- Отдельный фундамент. Нагрузки передаются в почву через фундаментную плиту;

- Глубокие фундаменты. Нагрузка высотного здания передается в более глубокие несущие горизонты через фундаментные сваи или элементы жидкоцементной стены;

- Свайно-плитный фундамент. Нагрузка передается в более глубокий слой в подпочве частично через плиту фундамента, частично через сваи или элементы стены в грунте ниже подушки.

Эти варианты фундаментов можно комбинировать для использования в особых почвенных условиях или особых дизайнерских проектах. На стадии проектирования фундамента высотного здания предварительный выбор подходящего фундамента может быть сделан на базе диаграмм. Схемы иллюстрируют четыре типа фундаментов для обычных типов почв.

4.2.Отдельный фундамент

В почвах с хорошей несущей способностью, например с песчаными или гравиевыми речными отложениями, отдельный фундамент продолжает оставаться самым экономичным вариантом для высотных конструкций. Исключение могут составить конструкции, где несимметрично распределенная нагрузка действует на фундаментную плиту. В таких случаях поддержка плиты глубокими фундаментными элементами может помочь уменьшить толщину фундаментной плиты или арматуры. Другими словами, даже для подпочвы с хорошей несущей способностью важно просчитать возможности использования разных вариантов фундамента.

Представлена схематичная диаграмма эффектов такого взаимодействия между грунтом и зданием. Происходят следующие эффекты:

- передача части нагрузки здания на более глубокие уровни грунта с большей жесткостью через фундаментные сваи через сваи-стойки и приповерхностное трение;
- взаимодействие между фундаментными сваями (групповой эффект);
- зонная передача нагрузки от плиты в грунт;
- увеличение осевого воздействия на оболочку сваи и приповерхностное трение как результат поверхностного давления плиты.

Как результат группового эффекта, производимого при воздействии близко расположенных свай, несущая способность суммы индивидуальных свай больше, чем эффективная несущая способность группы фундаментных свай. Фундаментные сваи по периметру и особенно сваи, расположенные по углам, несут большую нагрузку, чем сваи, расположенные в центре. Это эффект можно снизить через использование конструкции фундамента с более

длинными центральными сваями, по сравнению с угловыми или периметровыми, для того чтобы достичь равномерного распределения нагрузки. Совместное действие плиты и свай означает, что стабильность в первую очередь обеспечивается всей системой, а не несущей способностью отдельных свай. Если стандарты DIN в Германии для свайных фундаментов требуют обеспечения двойного запаса прочности, то сваи свайно-плитного фундамента могут подвергаться нагрузкам до их максимальной способности. Более высокая эффективность свайно-плитного фундамента по сравнению с простым отдельным фундаментом является результатом использования несущей

Способности свай в комбинации с одновременным несущим эффектом плиты. Если, например, здание Месзтурм было бы построено на простом отдельном фундаменте вместо свайно-плитного, количество свай для таких же размеров увеличилось бы с 52, реально использованных, до более чем 300.

размеры свайно-плитного фундамента определяются при помощи моделирования взаимодействия грунта и здания. Деформационное поведение грунта имеет значительное влияние на передачу нагрузки фундаментных элементов и на воздействие на структуру здания. Из-за сложности взаимодействий обычной асимметричной и трехмерной геометрии простые модели вычислений являются достаточными только для предварительной стадии проектирования. Для проверки конечной стабильности и размеров несущих элементов здания требуется трехмерное цифровое моделирование всего процесса строительства от котлована до законченного здания.

Такая проверка может быть проведена только при помощи моделирования в режиме реального времени нелинейного, упругопластичного и зависящего от времени деформационного поведения доминирующего грунтового материала. Параметры материала, требующегося для такой симуляции, должны быть получены в процессе лабораторных и полевых исследований и должным образом задокументированы.

Концепция свайно-плитного фундамента является стратегической для высотного строительства, обеспечивая стабильность и эксплуатационную пригодность здания (минимизированные деформации), а также качественную техническую и экономическую оптимизацию цоколя здания. Назовем следующие преимущества и задачи свайно-литного фундамента:

- снижение размягчения грунта в процессе экскаваторных работ благодаря действию свай в качестве прижимных свай (отрицательное

приповерхностное трение) и, соответственно, отсутствие структурного «размягчения» и деформации верхних слоев грунта;

- ограничение осадки, изгиба и наклона плиты фундамента до приемлемых значений, обеспечивающих эксплуатационную пригодность здания и технических систем (водопровод, лифты, фасады);
- предотвращение осадки в соединениях между элементами фундамента здания и его остовом, предупреждая тем самым высокие расходы на техническое обслуживание осадочных соединений;
- центрирование суммарных сил противодействия почвы по оси суммарных нагрузок здания на асимметричные элементы фундамента (отсутствие необходимости использования осадочных и наклонных швов);
- центрирование свай на осях нагрузки и избежание изгибающего напряжения плиты.

Возможность безопасной передачи любой внецентровой нагрузки с небольшими рисками деформации на подпочву через организацию свай, длину расположенных уступами свай и диаметр свай открывает новые возможности для высотного строительства. Строительные структуры, подвергающиеся разнообразным нагрузкам и организованные несимметрично, могут выполняться на монолитной фундаментной плите без осадочных швов. Каждый проект характеризуется наличием индивидуальных параметров, которые требуют использования оптимальной конструкции фундамента. Поиск такого оптимального решения проводится через сравнение и модельное вычисление. Классический отдельный фундамент обязательно должен быть включен в список возможных вариантов, поскольку эта конструкция продолжает оставаться самым экономичным решением при определенных условиях. Свайно-плитный фундамент также предлагает очевидные преимущества для:

- тонких зданий с отношением высоты к ширине более 4,0;
- значительных перепадов нагрузки на небольшом расстоянии (высотки с подземными гаражами и примыкающими боковыми конструкциями);
- нагрузок с большим эксцентриситетом;
- высоких давлений на основание (высокие нагрузки здания на ограниченную площадь фундамента);
- уникальных условий строительства и нестандартных типов зданий.

4.3.Свайный фундамент

Свайные фундаменты необходимы для грунтов с низкой несущей способностью или неоднородного грунта. Общая нагрузка высотки передается на

несущее основание свай или элементы «стены в грунте». Фундаментная плита высотного здания не включена или включена только частично в передачу нагрузки. В соответствии со стандартами DIN, сваи должны конструироваться таким образом, чтобы обеспечивать двойной запас прочности в отношении максимальной несущей способности. Для того чтобы соответствовать данным требованиям, количество и длины свай должны быть больше по сравнению со сваями свайно-плитного фундамента, а значит, свайный фундамент требует гораздо больших затрат, чем свайно-плитный. Однако осадка простого свайного фундамента гораздо меньше, чем свайно-плитного.

4.4. Комбинированные решения

Для небольших высоток, стоящих на склонных к деформации грунтах, одним из экономичных решений может стать комбинированный несвязанный свайно-плитный фундамент. В несвязанных свайно-плитных фундаментах, склонный к деформации грунт усилен свайными элементами до той степени, которая необходима для размещения на ней плитного фундамента с обеспечением полной эксплуатационной пригодности здания. Примером такого несвязанного свайно-плитного фундамента может стать здание Пост-Тауэр в Бонне, находящееся в настоящее время в процессе строительства. Оголовки свай отделены от плиты сплошного фундамента высотки при помощи синтетической плиты. Сплошная фундаментная плита абсорбирует всю нагрузку высотного здания, пока синтетическая плита полностью сжата и имеется полный прижимной контакт с оголовками свай. Этот метод мобилизует частичный несущий эффект плиты, несмотря на введение свай в глубокие несущие слои почвы. Такая система позволяет использовать экономичный свайно-плитный фундамент даже в грунтах, не вполне пригодных для такого типа фундаментов.

5. Современные методы расчета НДС массива грунта, вмещающего конструкции подземной части ВЗ на плитном фундаменте.

Расчеты НДС массива грунта, вмещающего конструкции подземной части ВЗ и окружающей застройки (система) выполняются численными методами МКЭ с учетом их взаимодействия, поэтапности строительства: устройства ограждающей конструкции, водопонижения, выемки грунта из котлована, устройства распорок (подкосов), устройства плитного или плитно-свайного фундамента, строительства подземных этажей, возведения подземной части.

Учет исходного НДС массива и его трансформации на каждом этапе строительства подземной части, в том числе разуплотнение дна котлована.

Построение геомеханической модели массива в соответствии с результатами ИГ и ГГ изысканий и конструктивных особенностей ВЗ.

Выбор расчетных параметров деформируемости и прочности грунтов, слагающих массив.

Определение исходного НДС массива и его трансформация на каждом этапе.

Расчет МКЭ НДС массива и подземных конструкций с учетом поэтапности строительства подземной части ВЗ.

Расчет МКЭ НДС массива и подземных конструкций с учетом поэтапности возведения надземной части ВЗ. Трансформация НДС системы в период строительства.

Расчеты НДС системы с учетом способа строительства подземной части (снизу вверх, сверху вниз).

Учет жесткости подземной части при расчете плитного фундамента ВЗ.

Расчеты НДС массива при водопонижении внутри котлована и за ограждающей конструкцией.

Выбор типа, размеров, количества и шага свай в составе свайно-плитного фундамента в зависимости от ИГ и ГГ условий площадки строительства, конструктивных особенностей ВЗ и комплекса.

Определение несущей способности буронабивной одиночной сваи большой длины (более 20м) и большого диаметра (до 2,5м) по результатам полевого эксперимента методом Остерберга и по результатам численного моделирования НДС системы «свая – окружающий массив» по предельным значениям осадки оголовка сваи. Анализ результатов испытаний и расчетов.

Определение количества свай в свайно-плитном фундаменте исходя из несущей способности одиночной сваи или исходя из предельного значения осадки свайно-плитного фундамента, рассчитанной по СП или численным методом.

Расчет НДС системы «массив – подземная часть – свайно-плитный фундамент» с учетом их взаимодействия, нелинейных свойств грунтов и поэтапности строительства подземной и высотной частей при шаге до $3 \div 4d$ при ограниченном количестве свай (до 100) и при неограниченном количестве.

Метод приведенного модуля деформации свайно-грунтового массива при расчете осадки и крена свайно-плитного фундамента при шаге свай до $3 \div 4d$.

Примеры определения приведенного модуля и расчета свайно-плитного фундамента.

Расчет осадки свайно-плитного фундамента при шаге свай более $6 \div 7d$.

Использование баррет в составе свайно-плитного фундамента ВЗ большой площади.

6. Деформация недр при возведении высотного здания

Воздействие от строительства тяжелой структуры, такой как высотный дом, на грунт приводит к изменениям естественных состояний грунта на всем протяжении строительства. Это, в свою очередь, приводит к деформации, размер, распространение и направления которой зависит от следующих факторов:

- характеристики грунта строительной площадки (реакция на деформацию и сдвиг, геологические характеристики);
- геометрия здания (площади, объемы);
- масштаб и последовательность воздействий на грунт.

Характеристики недр изменяются вследствие естественных изменений опорных пород и грунта. Доминирующие типы грунта могут изменяться. В природе они обычно располагаются комбинированно вертикальными слоями:

- грунты с молодыми морскими осколочными породами (торф, ил, глины имеющими невысокую несущую способность и высокочувствительным деформациям;
- грунты с осадочными порода, уже подвергавшимися геологическим нагрузкам (жесткие, пластичные), и неплотный песок и гравий, имеющие ограниченную несущую способность и среднеуязвимые к деформациям;
- недра с плотным песком, и бесструктурной почвой (разложившиеся скальные породы), имеющие хорошую несущую способность и хорошую сопротивляемость деформации;
- камни и скалы, имеющие высокую несущую способность и не подверженные деформации.

Очевидно, что грунты класса А не пригодны для строительства на них тяжелых структур. В то же время использование соответствующей системы фундамента и необходимые геотехнические усиления могут сделать геологически преднапряженные глины подходящей основой для высоток.

Опыт показывает, что потенциальный уклон как результат естественной децентрализации грунта является 10—15% общей деформации. Это означает, что неравномерная осадка в 3—5 см может произойти в результате ес-

тественных геологических аномалий для общей осадки приблизительно в 30 см. Учитывая дополнительную децентрализованность воздействия нагрузки, уклон фундамента может быстро выйти за допустимые рамки.

Для современных высотных систем основной задачей является ограничение деформации фундамента до следующих пределов для того, чтобы минимизировать риски и гарантировать эксплуатационную пригодность:

- осадка макс. 10-14 см;
- наклон макс. 1:800;
- изгиб макс. 1:500;
- неравномерная осадка в стыках макс. 5 см.

Критическими этапами строительства типичных высотных конструкций с точки зрения деформации являются:

1. Рытье котлована. Дистресс (снижение давления) грунта приводит к вспучиванию дна котлована.

2. Снижение уровня подземных вод или снижение давления на грунт: воздействие на грунт, вызванное отсутствием давления воды приводит к осадке на площади, на которой уровень подземных вод был изменен. Эти осадки частично компенсируются вспучиванием при повторном подъеме уровня подземных вод.

3. Строительство высотного здания: воздействие на грунт в результате строительных нагрузок приводит к возникновению осадки, наклонов и изгибов. Эти эффекты усложняются деформацией грунта в процессе подготовки и сооружения котлована: введения или преднапряжения анкеров (вспучивание и разрывы около преднапряженных участков), а также горизонтальными и вертикальными деформациями ограждения

котлована в процессе рытья котлована, в результате смещения давления грунта. Эти образцы деформации могут произойти локально или протянуться на большие площади (осадка в результате снижения уровня грунтовых вод) и могут иметь критические размеры. Поэтому геотехнический мониторинг является жизненно важным элементом реализации высотного проекта.

7.Современные методы расчета ограждающих конструкций котлована с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом.

Выбор вида ограждающей конструкции котлована в зависимости от ИГ и ГГ изысканий, конструктивных особенностей ВЗ и методов строительства подземной части (снизу вверх, сверху вниз).

Цель расчета ограждающих конструкций – обеспечение их прочности и несущей способности, прогибов и кренов, а также НДС массива грунта, удерживаемого ограждающими конструкциями, в том числе осадок и прогибов поверхности грунта на расстоянии от 3-х до 5-ти глубин котлована, в том числе существующих подземных коммуникаций вблизи котлована.

Расчеты взаимодействия ограждающих конструкций с окружающим массивом МКЭ с учетом нелинейных свойств грунтов, поэтапности выемки грунта из котлована, устройства распорных конструкций, анкеров и обвязочных поясов.

Особенности расчета при строительства подземной части ВЗ методом сверху вниз (up-down) с учетом поэтапности выемки грунта и устройства межэтажных перекрытий и их жесткости.

Выбор распорных конструкций стен котлована и методы их расчета для определения их прочности и устойчивости в зависимости от глубины котлована, количества ярусов по глубине и расстояния между распорками

Расчет несущей способности анкеров, их количества и расстояния между ними на каждом ярусе.

8.Защита котлована от затопления.

Основная задача контроля воды - содержать котлован сухим на всем протяжении строительства, пока новая структура не будет полностью закончена. Только тогда подземные воды смогут вернуться в свое нормальное русло. Технические решения для выполнения этой задачи разнообразны и зависят от местных геотехнических и гидрогеологических условий площадки.

Полное понижение уровня подземных вод с внешней скважиной и водопроницаемой стеной - это один из стандартных подходов. Данный подход, тем не менее, имеет следующие ограничения:

- ограниченное понижение уровня подземных вод, поскольку требуются высокие расходы на обработку и размещение откачиваемой воды (например, в случае ее загрязнения);
- риск осадки и ущерба для близлежащих зданий.

Тогда, когда понижение уровня подземных вод не является приемлемым решением, котлован должен проектироваться водонепроницаемым. Кроме водонепроницаемого ограждения котлована, его дно также должно выполняться водонепроницаемым. Решением, доказавшим свою эффективность, является строительство котлованов с подземными бетонными полами

либо с плавучей анкерровкой или с полами глубокой инъекции. Оба эти решения являются технически сложными и затратоемкими.

Если условия площадки позволяют использовать частичное понижение уровня подземных вод, решением может стать второй вариант: ограждение котлована водонепроницаемо и давление подземных вод спущено через дистрессинговые колодцы. Колодцы должны иметь такой размер и быть организованы таким образом, чтобы предотвратить разрыв днища котлована под воздействием давления в результате дистресса.

Стоимость систем ограждения (ограждающие стены, распорки) увеличивается от варианта 1 к варианту 4. При сравнении этих вариантов необходимо учитывать стоимость отвода, обработки (если необходимо) поднятой воды и потенциальные риски осадки соседних строений.

Проблематичному распределению нагрузок на ограждающие стенки с чрезмерными нагрузками на анкеровки, которые почти не поддаются контролю, особенно на низких уровнях анкеровки. Увеличение глубины анкеровки ограждающей стены облегчает ситуацию только на глубине более 10 метров, поскольку гидравлическое давление продолжает увеличиваться по мере заглубления анкеровок.

Водопонижение как основной этап строительства подземной части ВЗ.
Водопонижение (дренаж) в период эксплуатации ВЗ.

Влияние водопонижения на НДС массива, вмещающего подземную часть ВЗ, в том числе на окружающие здания и сооружения, а так же их подземные коммуникации.

Расчет НДС массива вследствие водопонижения с учетом измерение удельного веса грунта выше депрессионной воронки и фильтрационных сил в пределах депрессионной воронки.

Расчеты всплытия подземной части в период строительстве при подъеме уровня воды в котловане.

Расчет устойчивости толщи грунтов водоупора на дне котлована при наличии напорных водоносных горизонтов под ними.

Основы расчета барражного эффекта и затопления окружающей территории при строительства ВЗ с развитой подземной частью методом математического моделирования течения подземных вод за пределами строительной площадки.

Наблюдение за уровнем подземных вод за ограждающей конструкцией в скважинах в период строительства и эксплуатации ВЗ.

9. Опасные геологические процессы (ОГП) и их влияние на подземную и подземные части ВЗ.

К ОГП в пределах г. Москвы и Московской области относятся: суффозия (механическая и химическая), карстообразование, разжижение мелкозернистых водонасыщенных песков, виброползучесть при динамическом воздействии от наземного транспорта и от метрополитена, сейсмика до 5-6 баллов в зависимости от грунтовых условий.

Факторы, влияющие на развитие суффозионно-карстовых процессов в основании ВЗ в период строительства и эксплуатации. Изменение гидрогеологического режима и особенности литологического строения, в том числе наличие суффозионно-неустойчивых песков, карстующих пород (известняков).

Количественная оценка влияния суффозионной неустойчивости на НДС основания ВЗ для определения дополнительных осадок и кренов фундаментов ВЗ.

Количественная оценка влияния карстообразования в основании ВЗ и его влияния на НДС плитного фундамента, в том числе для определения дополнительных прогибов и кренов.

Расчет плитного фундамента на продавливание при образовании карстовой воронки непосредственно под подошвой фундамента.

Методы борьбы с карстообразованием. Заполнение карстовых пустот цементным или цементно-песчаным раствором.

Методы определения свойств виброползучести грунтов и учет виброползучести при определении дополнительных осадок и кренов фундаментов ВЗ.

10. Геотехнический мониторинг.

10.1. Нормы.

В соответствии с МГСН 4.19-2005 при строительстве и эксплуатации ВЗ необходимо организовать и осуществлять геотехнический мониторинг – инструментальные режимные наблюдения за состоянием несущих конструкций подземной части ВЗ, окружающих зданий и подземных коммуникаций, за уровнем грунтовых вод за пределами ограждающей конструкции. Геотехнический мониторинг необходим для своевременного обнаружения негативных явлений и для разработки мер по их ликвидации и стабилизации.

Использование высокоточных геодезических инструментов и спутников для наблюдения за деформациями фундаментных плит и колонн в подземной части ВЗ, в том числе за осадками и кренами.

Использование современных чувствительных датчиков для измерения напряжений на контакте плитного фундамента с грунтом и в колоннах подземной части ВЗ.

Использование инклинометров для определения прогибов ограждающих конструкций.

Использование наблюдательных скважин вокруг ВЗ для измерения уровня грунтовых вод.

Примеры проведения геотехнического мониторинга за объектами высотного строительства в г. Москве.

Сравнение результатов геотехнического мониторинга с результатами расчетов НДС системы «массив – подземная – высотная части здания» МКЭ для корректировки расчетной модели и составления рекомендаций по стабилизации негативных явлений.

В соответствии с Еврокодом EC7, кроме геотехнического тестирования, вторым обязательным элементом обеспечения безопасности конструкции является постоянный геотехнический мониторинг. Деформация грунта в результате котлованных работ, изменения уровня грунтовых вод и других строительных мероприятий, а также изменения воздействий и направление усилий в элементах фундамента должны замеряться, проверяться, оцениваться и документироваться на всем протяжении строительства и эксплуатации здания. Мероприятия по геотехническому мониторингу должны продолжаться до тех пор, пока реакция грунта не станет стабильной. Контрольные записи в режиме реального времени и документация призваны помочь специалистам обнаруживать отклонения от установленных норм и инициировать корректирующие меры.

Мониторинг включает в себя следующие элементы:

- прогноз реакции здания на деформацию под воздействием нагрузки и определение допустимых значений деформации для данной конструкции;
- разработка контрмер на тот случай, если в процессе измерений будут выявлены критические отклонения от прогнозируемых значений;
- контроль и своевременная оценка результатов измерений в процессе строительства.

В геотехническом мониторинге фундамента высотного здания мы выделили следующие виды работ: измерения котлована, измерения здания и измерения

вне строительной площадки. Все эти измерения являются геодезическими и геотехническими. Измерения вне строительной площадки также используются для архитектурной документации.

10.2.Измерительные приборы

Геотехнические измерения и мониторинг несущего поведения фундамента высотного здания включают в себя измерение и документирование следующих временных переменных геотехнических и геометрических параметров:

- вспучивание дна котлована в результате экскаваторных работ;
- уровни подземных вод и водяного давления внутри и около котлована;
- осадка фундамента;
- количество и распределение нормального воздействия на дно котлована и водяное давление ниже фундаментной плиты;
- несущее поведение глубоких фундаментных элементов, например фундаментных свай (нагрузка на начало сваи/распределение силы трения вдоль столба сваи/нагрузка на конец фундаментной сваи);
- распределение вертикальных смещений в грунте.

Для регистрации этих переменных используются датчики, характеризующиеся высокой степенью устойчивости к внешним воздействиям. Ввиду протяженности процесса мониторинга (до 5 лет и более), датчики должны иметь высокое разрешение и долговременную функциональность.

Одновременно с цифровым моделированием несущего поведения фундамента высотного здания необходимо также разработать измерительную программу, сопоставимую с особенностями проекта. Эта измерительная программа должна поддаваться проверке и содержать детальную информацию о следующих параметрах:

- тип и масштаб измерительной программы, то есть число и место расположения датчиков;
- требования и спецификации (диапазон измерений, разрешение и т.д.) датчиков;
- последовательность измерений, согласованная с последовательностью строительства;
- указания на контрольные и пороговые значения; дополнительные измерения или структурные контрмеры должны использоваться в том случае, если результаты измерений выходят за рамки допустимых значений.

Следующие измерительные устройства используются для геотехнических измерений: в грунтах или на контактной поверхности фунтов/ фундаментной плите:

- экстензометр;
- уклономер;
- датчик контактного / базового давления;
- датчик давления паровой воды;
- пьезомер.

В фундаментных сваях или на контактных поверхностях свай и грунта:

- датчик напряжений в начале сваи;
- датчик напряжений на конце сваи и вдоль оси свай.