

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ



В статье рассматриваются изменения состава, состояния и свойств грунтов в основаниях высотных зданий. Изменения начинаются при проходке изыскательских скважин, бурении скважин для устройства буровых свай, выкапывании котлована и продолжаются в процессе возведения и эксплуатации зданий.

Архангельский Игорь Всеволодович

Генеральный директор ООО «НПФ "НЕДРА"», кандидат геолого-минералогических наук,
г. Санкт-Петербург
ivaspbenergy@bk.ru

Введение

Для высотных зданий характерны большие нагрузки, передаваемые на их грунтовые основания, распределенные по значительной площади.

Например, высота 87-этажной башни общественно-делового комплекса «Лакhta Центр» (новой штаб-квартиры «Газпрома») в Санкт-Петербурге равна 462 м, при массе около 670 тыс. т (рис. 1). Это самое высокое здание в России и в Европе. Основание башни комплекса «Лакhta Центр» имеет диаметр около 60 м, фундаментная часть – 98 м. Свайно-плитный фундамент этого здания включает 264 буровых свай диаметром 2 м, доходящих до глубины 82,5 и 72,5 м от дневной поверхности. На свайный массив опирается сложный плитный фундамент. Несущими грунтами являются твердые глины верхнепротерозойского возраста, залегающие на глубине 30 м от поверхности. Сверху залегают рыхлые четвертичные отложения. Опасные геологические процессы (оползни, карст) в районе площадки отсутствуют, что отвечает требованиям безопасности высотного здания.



Рис. 1. Вид на общественно-деловой комплекс «Лакhta-центр» с Приморского проспекта Санкт-Петербурга [5]

Как известно, высокие нагрузки, передаваемые на грунтовые основания от сооружений, и большая площадь контакта с основанием характерны и для энергетических объектов – атомных, тепловых, гидроэлектростанций. Поскольку в России накоплен огромный опыт инженерных изысканий для энергетического строительства, он может быть использован при изысканиях для возведения высотных зданий.

Преобразования грунтов при бурении скважин

Опыт показывает, что во время бурения скважин при инженерно-геологических изысканиях происходят изменения состава, состояния и свойств грунтов – иногда довольно существенные [3]. Эти изменения необходимо учитывать при проектировании и устройстве фундаментов из буровых свай, имеющих в основаниях высотных зданий значительную длину.

В процессе бурения наиболее часто наблюдаются: разжижение тиксотропных глинистых грунтов, переход в плавунное состояние водонасыщенных пылеватых песков и супесей, образование «грунтовой пробки» (подъем грунта по стволу скважины) при вскрытии пылеватых или мелких (реже более крупных) песков. При большой глубине скважин «грунтовые пробки» могут возникать и в твердых глинистых грунтах.

Так, при инженерно-геологических изысканиях для проектирования 32-этажного здания «Петр Великий» в Санкт-Петербурге (рис. 2) в процессе бурения 100-метровой скважины на глубинах более 40–50 м наблюдались пробки из моренных суглинков Валдайского горизонта, заполняющих глубокий размыв в протерозойских породах. Как правило, они возникали при перерывах в работе до 16 часов и более. На глубине 50 м высота пробки составляла 10 м, на глубине 90 м – 18 м. При образовании пробки твердые суглинки переходили в пластичное состояние.



Рис.2. Модель проектируемого высотного комплекса «Петр Великий и Екатерина Великая» в Санкт-Петербурге [6]

Там же на глубинах более 40–50 м наблюдалось сужение ствола скважины, которое происходило за короткий промежуток времени от подъема бурового снаряда на поверхность до последующего его спуска до забоя. При глубине скважины 80 м буровой снаряд, опущенный в нее по прошествии 8 ч с момента окончания предыдущей проходки, на 20 м не доходил до забоя из-за сужения ствола.

Сужение стволов скважин при длительном стоянии в ледниковых суглинках наблюдалось и на других объектах на берегу Финского залива в районе Санкт-Петербурга. Бывали случаи, когда из-за этого не удавалось поднять из скважины на поверхность прессиометр после проведенных испытаний.

Предполагается, что сужение ствола скважины происходит вследствие горного давления или тектонических факторов.

Вместе с тем, например, при длительном стоянии 80-метровых скважин в ледниковых суглинках на площадке Костромской АЭС в районе города Буй сужения ствола скважины не наблюдалось.

Очевидно, что в грунтовых массивах Санкт-Петербурга действуют дополнительные напряжения, которые способствуют переходу грунтов из твердого состояния в пластичное в случае снятия природного давления и последующего механического воздействия на грунты.

В забоях скважин происходит разуплотнение грунтов, возрастающее с глубиной. Соответственно, возрастает и их деформируемость. Выполненные исследования показали, что после извлечения грунта из скважины деформативность моренных суглинков в забое возрастает на глубинах 10, 30 и 50 м в 1,8, 2,5 и 3 раза соответственно по сравнению с природной. Причем разуплотнение может сопровождаться необратимыми изменениями свойств грунтов.

Поэтому при устройстве фундамента из буровых свай недопустимы длительные перерывы между бурением скважин и заполнением их бетоном. Необходимо создавать противодействие, препятствующее разуплотнению грунта в забое.

Преобразования грунтов при выкапывании котлована

Особенностью котлованов при строительстве высотных зданий является их значительная глубина – нередко более 20 м.

К основным факторам, определяющим преобразования грунтов оснований, относятся их разуплотнение из-за снижения напряжения от веса вынутых грунтов и выветривание.

Максимальные изменения свойств вследствие *разуплотнения* происходят в глинистых грунтах, где оно иногда сопровождается набуханием. Внешне это проявляется в подъеме дна котлована или других строительных выработок. При разуплотнении в грунтах образуются трещины, по которым фильтруется вода, изменяющая их свойства.

Если ниже дна котлована, вырытого в глинистых грунтах, залегают напорные воды, то возможно разуплотнение этих грунтов под воздействием напора и выход воды в котлован. Это сопровождается переходом твердых глинистых грунтов в мягкопластичное состояние и резким ухудшением их прочностных и деформационных характеристик.

Пески, содержащие напорные воды, при вскрытии могут перейти в разжиженное состояние.

Скальные породы разуплотняются с образованием новых трещин и раскрытием старых. При этом их деформативность и водопроницаемость возрастают.

Процессы *выветривания* протекают почти одновременно с разуплотнением, дополняя и усиливая его. Активность выветривания зависит в основном от устойчивости грунтов к этому процессу и от длительности существования котлована.

Преобразования грунтов при строительстве зданий

При возведении зданий свойства разуплотненных грунтов в ряде случаев восстанавливаются. Так, благодаря пригрузке скальных пород от веса строения раскрытые трещины вновь смыкаются и первоначальные свойства пород восстанавливаются, если они не подверглись выветриванию.

В глинистых же грунтах некоторые изменения носят необратимый характер и после пригрузки их свойства полностью не восстанавливаются.

Улучшение свойств глинистых грунтов возможно только до определенного напряжения, пока сохраняется линейный характер их деформации. Однако при высоких напряжениях деформации в твердых глинистых грунтах (не говоря уже о более слабых) иногда развиваются не по линейному закону. Например, по опыту изысканий для строительства атомных электростанций, для твердых моренных суглинков московского горизонта зависимость между напряжением и деформацией, близкая к линейной, была установлена только при напряжениях до 400 кН/кв. м (по данным испытаний в стабилометре и приборе одноосного сжатия). При дальнейшем увеличении напряжения деформация резко возрастала. Таким образом, моренные суглинки, традиционно считающиеся надежными грунтами оснований, под фундаментом тяжелого сооружения могут превратиться, по сути, в слабые грунты [1].

При изысканиях для высотного строительства инженеры-геологи, составляя программу лабораторных определений деформационных характеристик, должны руководствоваться эпюрой предполагаемых напряжений от веса грунтов и дополнительных напряжений от внешних воздействий. Эпюра напряжений позволяет правильно определить напряжения грунтов от собственного веса, которые с глубиной увеличиваются, и дополнительные напряжения от внешних нагрузок, которые с глубиной рассеиваются.

Например, для крупномасштабных сооружений напряжение от собственного веса грунтов достигает 1000 кН/кв. м и более. Очевидно, что интервалы расчетных напряжений

здесь при определении модуля деформации будут иными, чем используемые при массовом строительстве.

Влияние масштабного фактора на деформационные характеристики грунтов

В связи с большой площадью контакта высотного здания с грунтовым основанием расчет модуля деформации грунтов основания должен проводиться с учетом масштабного фактора, влияние которого подтверждается многочисленными экспериментами.

Хорошо известно, что чем больше площадь штампа, тем, как правило, выше значение модуля деформации для одних и тех же грунтов. Например, для ледниковых суглинков северо-запада России модуль деформации по результатам испытаний штампом площадью 5000 кв. см на 20% выше модуля по результатам испытаний штампом площадью 600 кв. см [2].

Наблюдения за осадками крупномасштабных энергетических сооружений показывают, что их фактические значения оказываются меньше прогнозируемых. Это обусловлено главным образом влиянием масштабного фактора на деформационные свойства грунтов. Фактический модуль деформации грунтов оснований крупномасштабных сооружений всегда больше, чем определенный при испытаниях в полевых или лабораторных условиях [4]. Например, модуль деформации моренных суглинков в основании реакторного отделения Калининской АЭС с размером фундаментной плиты 70 м x 70 м в 2,5–3 раза выше модуля, полученного по данным полевых испытаний штампом площадью 5000 кв см [2].

В энергетическом строительстве учет масштабного фактора предусмотрен нормативными документами.

В гидротехническом строительстве площадь фундамента учитывается при расчете модуля деформации в случаях, когда ширина фундамента составляет более 20 м. Переходный коэффициент от штампового модуля деформации к фактическому определяется с учетом площади подошвы фундамента и штампа.

При расчете модуля деформации в атомной энергетике по результатам лабораторных испытаний для фундаментов размером более 50 м x 50 м вводится повышающий коэффициент $m = 2$.

В гражданском и промышленном строительстве влияние масштабного фактора при расчете деформационных характеристик нормативными документами не учитывается.

Преобразования грунтов при эксплуатации здания

В процессе эксплуатации здания возможны техногенные воздействия, ухудшающие физико-механические свойства грунтов.

Например, возможно подтопление площадки за счет создания препятствия на пути подземного потока и утечек из коммуникаций. В ряде случаев возникает тепловое поле, формирующееся вследствие отепляющего влияния застройки на значительной площади и утечек горячей воды. Если близко от здания проходят транспортные магистрали, то на грунты основания воздействует динамическая нагрузка от транспортных средств.

Выводы

1. Высотные здания, так же как и энергетические объекты (АЭС, ГЭС, ТЭС) относятся к тяжелым крупномасштабным сооружениям повышенной ответственности.

2. Изучение грунтовых оснований высотных зданий должно выполняться с учетом преобразований грунтов во время бурения изыскательских скважин, при производстве работ нулевого цикла и в процессе возведения и эксплуатации объектов.

3. Представляют интерес образование грунтовых пробок и сужение стволов скважин при бурении в твердых ледниковых суглинках в Санкт-Петербурге.

4. Твердые ледниковые суглинки, залегающие в основаниях высотных зданий, под воздействием высоких напряжений могут превратиться в слабые грунты.

5. При расчете деформационных характеристик грунтов по результатам полевых и лабораторных испытаний необходимо учитывать масштабный фактор.

6. Опыт инженерно-геологических изысканий для энергетического строительства может быть использован при изысканиях для строительства высотных зданий.

Список литературы

1. *Архангельский И.В.* Деформируемость и сорбционные свойства грунтов оснований атомных станций // Геозкология. 1993. № 6. С. 59–69.
2. *Архангельский И.В.* Оценка деформируемости грунтов оснований при техногенных воздействиях на геологическую среду // Геозкология. 1995. № 4. С. 118–132.
3. *Архангельский И.В.* О нарушениях состава и природного сложения грунтов при бурении скважин // Геозкология. 1998. № 1. С. 94–100.
4. *Тер-Мартirosян З.Г.* Современные проблемы механики грунтов при высотном строительстве // Инженерная геология. 2007. № 1. С. 33–41.
5. https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Файл:Saint_Petersburg._View_to_Lakhta_Center_from_Pri_morsky_Avenue.jpg.
6. <https://www.metronews.ru/partners/press/reviews/petr-velikiy-stometrovyu-neboskreb-1301699/>.

Заглавное фото: <http://lakhta.center/>