

Особенности расчета, проектирования и устройства фундаментов высотных зданий

Федотова К.А. ст. гр. 2019/2*

Коломийцев Д.Е. ст. гр. 5019/11

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Ключевые слова: сваи; фундаменты; небоскребы; высотные здания; баретты;

Высотными зданиями в России со времён СССР считают здания высотой более 75 м или более 25 этажей.[1] В других странах под термином «высотное здание» обычно понимают здание высотой от 35 до 100 м, здания выше 100 м (в США и Европе — выше 150 м) считаются небоскрёбами.

Высотные здания могут иметь разное назначение: быть гостиницами, офисами, жилыми домами, учебными зданиями. Чаще всего высотные здания выполнены многофункциональными: помимо помещений основного назначения в них размещаются автостоянки, магазины, офисы, кинотеатры и т. д. Такие здания (особенно здания смешанного использования) рациональны по сути своей потому, что в них может разместиться большое количество людей на маленьком участке земли.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. и приказом Минрегиона России № 36 от 1 апреля 2008 г. при проектировании высотных зданий необходимо выполнить разработку специальных технических условий, включающих дополнительные требования по проектированию фундаментов.[2,3]

Проектирование оснований и фундаментов высотных зданий по сравнению со случаем проектирования обычных зданий и сооружений наталкивается на трудности, вызванные увеличением суммарной нагрузки на основание, удельных нагрузок на фундаменты и неравномерности этих нагрузок. По ТСН 31-332-2006 «Жилые и общественные высотные здания» значение нагрузок на фундаменты достигает: для сплошных плит на естественном основании от 40 до 70 т/м², для свайных фундаментов от 150 до 500 т и более на сваю.

При проектировании фундаментов высотных зданий можно выделить несколько основных этапов:

1. Выбор типа фундамента высотного здания;
2. Расчеты при проектировании фундаментов высотных зданий.

На основании расчетов в конструктивную схему здания могут вноситься незначительные изменения, такие как корректировка основных геометрических размеров проектируемых конструктивных элементов и введение в конструктивную схему здания дополнительных стен и колонн.

Выбор типа фундамента высотного здания

Фундаменты высотных зданий бывают нескольких видов:

- Свайные;
- Плитные;
- Свайно-плитные;
- Бареттные.

Примеры использования данных видов:

1. Свайные.

В Нью-Йорке небоскребы установлены на огромных металлических Н-сваях диаметром метр на метр. В Чикаго, где преобладают минеральные грунты, высотные здания стоят на мощных столбах-сваях. Фундаменты небоскребов Чикаго и Нью-Йорка опираются на однородное прочное скальное основание, залегающее на сравнительно небольшой глубине (менее 10 – 20 м). [4] В отличие от нью-йоркских небоскребов фундамент Бурдж-Халифа, ОАЭ, Дубай не закреплён в скальном грунте. В фундаменте здания применялись висячие сваи длиной 45 м и диаметром 1,5 м. Всего таких свай около 200.[5]

Технология возведения опор глубокого заложения аналогична технологии возведения буронабивных свай.[6] Существующие машины позволяют механизировать все процессы работ по устройству опор диаметром ствола 1-3 м и уширенной пятой 2,5-5 м.[7] К примеру, установки ЕДФ-55 французской фирмы "Беното" позволяют делать буровые опоры диаметром до 2100 мм и глубиной до 120 м в сложных грунтовых условиях.[8]

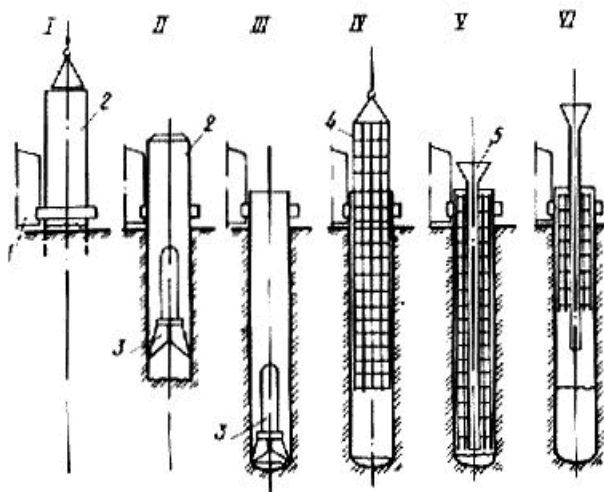


Рисунок 1. Технологическая схема устройства буровых опор.

I - установка бурового станка, II - проходка скважины, III - зачистка забоя, IV - установка арматурного каркаса, V - установка бетонолитной трубы, VI - бетонирование опоры;

1 - буровая установка, 2 - обсадная труба, 3 -грейферный ковш, 4 - арматурный каркас, 5 - бетонолитная труба.

2. Плитные.

Как правило, это старые небоскребы, такие как здание МГУ в Москве, которое строилось на массивной плите.[9] Плитные фундаменты бывают двух типов: в виде сплошной железобетонной конструкции и коробчатые, когда верхняя и нижняя плита разделены между собой системой диафрагм. Современный пример применения такой конструкции – высотный дом «Эдельвейс» на Кутузовском проспекте в Москве.

По ряду объективных причин опыт строительства «сталинских высоток» сегодня малоприменим. Использование коробчатых фундаментов с развитой площадью опирания при строительстве МГУ и других высоток позволяет снизить среднее давление по подошве фундамента до 0,3...0,45 МПа. Однако в настоящее время применение таких решений для высотных зданий весьма проблематично в условиях сложившейся плотной застройки. В стесненных условиях среднее расчетное давление под 30-этажным жилым домом достигает порядка 0,5...0,7 МПа. В СССР никогда не сталкивались с такими величинами давлений при опирании фундаментов зданий на не скальные грунты.[10]

3. Свайно-плитные.

Один из вариантов для фундамента точечного небоскреба – сделать большой подиум в виде мощной развитой коробки, чтобы снизить нагрузку на слабые грунты, а под ним – сваи.

Строительство комбинированных свайно-плитных фундаментов было неоднократно и успешно проведено во Франкфурте-на-Майне. При возведении высотных зданий по проекту комбинированного свайно-плитного фундамента, таких, как, например Maintower, Messeturm[11], и других, возможно уменьшение количества свай до 50% по сравнению со свайным фундаментом.[12]



Рисунок 2. Фундаменты плитного типа



Рисунок 3. Фундамент свайно-плитного типа

4. Барретные.

Барретты представляют собой вид набивных свай повышенной несущей способности, которые выполняются в форме четырехугольников и различных комбинаций из них. Для их устройства грейфером под защитой суспензии отрывается траншея, в которую впоследствии опускается арматурный каркас (в случае производства армированных барретт) и производится бетонирование.

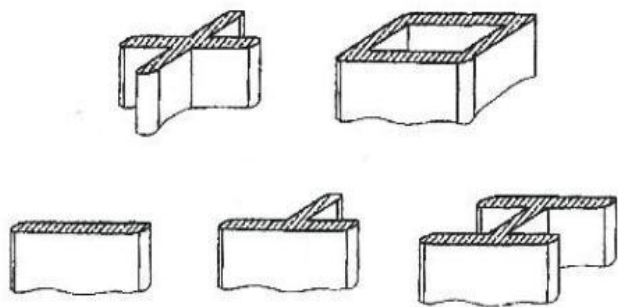


Рисунок 4. Возможные конфигурации барретт

Расчет аналогичен расчету свай по боковой поверхности и несущей способности пяты сваи. Преимущество перед сваями большого диаметра – больший периметр при одном объеме бетона, и большой момент инерции в направлении момента.[13]

Примером является небоскреб Petronas Towers в Куала-Лумпуре (Малайзия), под которым находится 100-метровая толща слабого грунта. Здесь фундамент состоит из 114 барретт – это H-образные железобетонные конструкции, каждая шириной 1,2 и длиной 2,4 метра. На таком основании стоит 480-метровый небоскреб. [14]

Другой пример, башня Накхил в Дубае. Согласно проекту она должна была достигнуть высоты, превышающей 1 км. Но проект был приостановлен в начале 2009 г. на стадии, когда была уже построена половина фундаментов. Однако еще до приостановки проекта были выполнены такие работы, как инженерно-геотехнические изыскания на площадке строительства, разработка концептуальной модели, сооружение и испытание оснащенных оборудованием тестовых барретт, оценка реакции грунта на нагружение башни и проектирование системы барретт для контроля работы грунта, осадки и крена башни. В ходе чего было выявлено, что большое давление, передаваемое на грунт, а также наличие

мягких скальных пород, залегающие в основании башни, создают трудности для проектирования системы фундаментов.[15]

Расчеты при проектировании фундаментов высотных зданий

Если при проектировании фундаментов многоэтажных зданий высотой до 75 метров неточности в определении осадок часто не имеют существенного значения, то при проектировании высотных зданий более 100 м, они могут приводить к существенным проблемам. Всегда следует учитывать, что правильно проведенный расчет позволит принять наиболее экономически обоснованное решение, а в ряде случаев отказаться от применения дорогостоящих свайных фундаментов. Это означает, что при проведении расчетов фундаментов высотных зданий, параллельная работа нескольких групп расчетчиков становится технически и экономически оправданной.

В действующих нормах СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений» приводится метод расчета осадок с учетом экскавации котлована, учитывающий разгрузку основания, который в принципе может быть использован в качестве первой оценки при определении осадки фундаментов высотных зданий. Для сооружений I уровня ответственности, к которым и относятся высотные здания, величины модуля деформации по ветви первичного нагружения и вторичного нагружения для всех инженерногеологических элементов основания необходимо в обязательном порядке определять по результатам испытаний. В связи с изложенным можно отметить, что точность методов расчета оснований, в том числе и высотных зданий, не может существенно опережать уровень разработки моделей грунтов и методов определения их физико-механических характеристик (параметров этих моделей). Поэтому следует обратить особое внимание на совершенствование способа отбора образцов грунта, лабораторных и особенно полевых испытаний грунтов (штампы, прессиометрия, статическое и динамическое зондирование, крыльчатка, геофизические методы).

Все сказанное выше можно отнести и к определению осадки свайных фундаментов, при проведении расчетов которых также может возникать большое количество проблем. Для свайных фундаментов сложности с проведением расчетов связаны не только с назначением механических свойств грунтов, но и с адекватным выбором расчетной модели. Большеразмерные свайные фундаменты, как известно, подразделяются на две большие группы - классический вариант сплошного свайного поля и плитно-свайные фундаменты. Жесткость сваи в составе комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ) меньше, чем жесткость одиночной сваи, и, точно так же, жесткость плиты в составе КСПФ меньше жесткости той же плиты без свай. Современная вычислительная техника и пакеты программ, в частности на основе метода конечных элементов (МКЭ), позволяют автоматизировать выполнение всех расчетных операций при проектировании фундаментов высотных зданий. Исключительно компьютерный расчет в рамках единой расчетной схемы «основание-высотное здание», к которому зачастую сводится проектирование фундаментов, часто не позволяет проектировщику «прочувствовать» характер поведения основания и оценить надежность и точность полученных результатов. Только комбинация расчетов по упрощенным схемам с расчетом детальных МКЭ моделей может приводить к принятию надежных конструктивных решений.[16]

Статистические данные подтверждают, что большинство технических аварий на фундаментах происходит из-за ошибок, допущенных в процессе проектирования(37%) и строительства(35%).[17]

Таким образом, для расчета осадок фундаментов проектировщик должен знать исходное (природное) и начальное (после отрывки котлована) напряженное состояние, уметь определять нагрузки на фундамент, распределение напряжений в грунте от нагрузок, приложенных к фундаменту, вертикальные деформации грунта от этих напряжений, а также уметь суммировать эти деформации по глубине основания в пределах активной (сжимаемой) толщи. Для решения этих задач необходимо выбрать надлежащие расчетные схемы и соответствующее программное обеспечение. Для контроля правильности результатов необходимо предусматривать проведение расчетов несколькими группами проектировщиков с применением альтернативного программного обеспечения.[18]

Выводы

1. Основания, фундаменты и подземные части высотных зданий следует проектировать в соответствии с требованиями норм на проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений (СНиП 2.02.01, СНиП 2.02.03), норм на нагрузки и воздействия (СНиП 2.01.07) и норм на бетонные и железобетонные конструкции (СНиП 2.03.01, СНиП 52-01).

2. Строительство высотных зданий в районах проявлений опасных геологических и техногенных процессов (карстово-суффозионных, оползневых, активных разломов и др.) может осуществляться только на основании анализа материалов инженерно-геологических изысканий на площадке предполагаемого строительства с проведением экспертной геотехнической оценки территории и выбором типа фундаментов.

Заключение

В связи с большими нагрузками на фундамент и сложным, с технологической точки зрения, устройством фундамента высотные здания требуют особого подхода к проектированию и строительству. Однако, существенным фактором, негативно влияющим на развитие высотного строительства в России, является отсутствие современной нормативной базы, препятствующее успешному развитию этого вида строительства.

Литература

1. Граник Ю.Г. Проектирование и строительство высотных зданий. // Энергосбережение. 2004. №2. С.92-97.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87 г. Москва «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
3. Приказ Минрегиона Российской Федерации от 01.04.2008 № 36 «О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства».
4. Fleming W.G.K., Weltman A.J., Randolph M.F., Elson W.K. (1992). Piling Engineering. 2nd Ed. Halsted Press, New York.
5. Poulos H.G., Bunce G. (2008). Foundation Design for the Burj Dubai – the World's Tallest Building. Proc. 6th Int. Conf. Case Histories in Geot. Eng., Arlington, VA, Paper 1.47, CD Volume.
6. Burland J. B., Mitchell J. M. (1989). Piling and Deep Foundations. Proc. Int. Conf. on Piling and Deep Foundations, London, May 1989.
7. Беленький С.Б., Дикман Л.Г., Косоруков И.И. Проектирование и устройство свайных фундаментов. М.: Изд-во «Высшая школа». 1983. Гл. 14.
8. Штоль Т.М., Теличенко В.И., Феклин В.И. Технология возведения подземной части зданий и сооружений, М.: Изд-во «Стройиздат». 1990. Гл. 8.
9. Кружков Н.Н. Высотные здания в Москве. Факты из истории проектирования и строительства. 1947-1956. Самара: Изд-во: Издательский дом «Агни». 2007. [Электронный ресурс]. URL: http://retrofonoteka.ru/skyscrapers/moscow_skyscrapers_2.htm (дата обращения: 11.12.2012).
10. Безволев С.Г. Проектирование и расчеты оснований и фундаментов высотных зданий в сложных инженерно-геологических условиях. // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2007. №11.
11. Katzenbach R., Arslan U., Moorman C. (2000). Piled Raft Foundation Projects in Germany. Ch. 13 of Design Applications of Raft Foundations, Ed.
12. Катценбах Р., Фоглер М., Дунаевский Р.А. Экономическая оптимизация фундаментов высотных зданий. Международный опыт. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. №9 (92). С.58-60.
13. Катценбах Р., Дунаевский Р.А., Франивский А.А. Методика испытаний буронабивных свай повышенной несущей способности по системе Остенберга // Жилищное строительство. 2008 . № 8. С. 27-30.
14. Строительство высотных зданий: надо учиться на чужих ошибках. // Вестник строительного комплекса. №50. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vestnik.info/archive/16/article195.html> (дата обращения: 11.12.2012).
15. Haberfield C.M., Paul D., Ervin M. (2008). Case History – Geotechnical; Design for the Nakheel Tall Tower. ISSMGE Bulletin, Vol. 2, Issue 4, 5-9.
16. Mandolini A., Russo G., Viggiani C. (2005). Pile foundations: experimental investigations, analysis and design. Proc. 16th Int. Conf. Soil Mechs. Geot. Eng., Osaka, 1: 177-213.
17. В. Ван Импе Фундаменты глубокого заложения: Тенденции и перспективы развития. // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2005. №9.
18. Разводовский Д.Е., Федоровский В.Г., Шейнин В.И., Колыбин И.В. Особенности проектирования оснований, фундаментов и конструкций подземных частей высотных зданий и сооружений. // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Том XIII. Строительство высотных зданий и сооружений. 2010.

**Ксения Александровна Федотова, Санкт-Петербург, Россия.*

Тел.: +7(921)326-28-76; эл. почта: himole@rambler.ru

© Федотова К.А., 2012