

Современные конструктивные решения высотных зданий на примере строительства Лахта-Центра

Д.В. Гранкина, Н.В. Иванов, В.О. Коняхин

Донской Государственный Технический Университет

Аннотация: В статье рассматриваются современные конструктивные и архитектурно-планировочные решения, принятые в проектировании и строительстве высотных зданий. Масштабы и научно-технический уровень проекта представляются уникальными и впервые применяются в практике высотного строительства. В статье анализируются основные проектные решения, проводится сравнение с мировой практикой и лучшими конструктивными решениями небоскребов мира.

Ключевые слова: Лахта Центр, аутригер, аутригерная система, высотные здания, небоскреб, ядро жёсткости, инновация, уникальные здания, конструктивные решения, архитектурная концепция, новые технологии

Высотные здания в России – современный и актуальный подход к строительству, который не только приносит хорошую прибыль, но и даёт толчок созданию новых технологий в современную строительную индустрию. Согласно нормативам, принятым в СССР, высотным зданием можно считать здание высотой более 75 м или же 25 этажей и выше. В зарубежных нормативах высотное здание имеет высоту от 35 до 100 м. Если здание выше 100 м (в США и Европе — выше 150 м) – то оно является небоскрёбом. Особый интерес представляют уникальные высотные здания. [1] В Градостроительном кодексе сказано, что объект капитального строительства будет считаться уникальным, если он будет соответствовать одному из показателей: высота более 100 метров, а также пролеты - более чем 100 метров; наличие консоли – более, чем 20 метров; заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 метров.

Высотные здания эффективны в плане реализации, так как в большинстве случаев проектируются многофункциональными: гостиницы,

жилые дома, офисами и т.д. Помещения основного назначения, эксплуатируются, как автостоянки, магазины, офисы, кинотеатры и т. д.[2]

Основные показатели востребованности строительства высоток в наши дни - плотная застройка, высокие цены на землю. Застройщики по максимуму используют выделенные земельные участки и получают значительную прибыль от строительства высотных офисных, жилых и многофункциональных зданий. Небоскребы – это также маркетинговый инструмент в разработке рекламы и создании престижа крупных организаций. Все больше под снос идут одно-, двухэтажные частные и жилые дома, а на их месте вырастают жилые, торговые и общественные комплексы – небоскребы. Уплотнение застройки в центре больших городов со стесненными условиями и небольшими площадями застройки также побуждает применять высотное строительство. [3]

20-25-этажные здания уже не в новинку в строительной практике. В связи с этим, конструкторы, проектировщики, инженеры по всему миру начали продвигать принципиально новые виды конструктивных схем каркаса и их планировки. Это стимулировало внедрение новых идей, изобретений и инновационных решений в высотное строительство.

Зарождение высотного строительства началось еще в Древней Руси с возведения церквей. Сегодня доминантой небоскребов и проектом-рекордсменом в России, конечно, является общественно-деловой центр в Санкт-Петербурге «Лахта Центр». Проект нацелен на материализацию стратегии Санкт-Петербурга – переходу к полицентричной модели развития.

Существуют отработанные схемы расчета конструкций рядовых зданий и сооружений, которыми пользуются все конструкторы и проектировщики мира. Но конструкция небоскрёба – сложная пространственная схема, при расчёте которой особое внимание уделяется проектированию фундамента,

нетиповым решениям компоновки усиливающих элементов (ядро здания, диафрагмы жесткости, бандажные пояса, связевые этажи и др.). Учесть все конструктивные особенности, воздействия, движения нагрузок и возникающие в конструкциях напряжения очень сложно, вследствие чего используются идеализированные схемы, разрабатываемые в вычислительных программах, которые в значительной степени отражают реальную работу строительных конструкций зданий или сооружений.

Проектирование может быть выполнено в таких комплексах, как Revit, 3dsMax, ArchiCAD и др. Для осуществления прочностных расчетов применяются программные продукты, использующие расчетные модули, основанные на методе конечных элементов - Ansys, Лира-Сапр, SCADOffice и др. В качестве примера применение таких комплексов показано в работах [4-6].

Спорной была идея строительства здания таких колоссальных габаритов, объемов и массы, ведь Петербург был построен на слабых грунтах (глина, песок, суглинок, торф). Инженерно-геологические изыскания показали, что, песок отлично уплотняется, имеет неплохую несущую способность, в то время как глинистые грунты потребовали применение современных технологий. Появилась необходимость строительства фундаментов с немалым запасом прочности. Несмотря на это, в ходе строительства оказалось, что слабые грунты залегают только на верхнем слое, а ниже были найдены отложения ледниковых залегающих – супесь с гравием и песчаные валуны. Следовательно, грунтовые условия достаточно надежны, и строительству ничего не препятствует.

Технология проектирования фундаментов: использовалось 264 железобетонных свай диаметром 2 метра и глубиной заложения в грунт – 72 и 82 метра. Длина свай и большой диаметр позволяет им достигать самых плотных слоёв грунта и обеспечивать гарантированный запас прочности. Тип

фундамента был принят комбинированным – коробчатый и плитный. Коробчатый тип зачастую используется при строительстве небоскребов на глинистых грунтах, а взаимодействуя с дополнительным плитным основанием, фундаментная «коробка» покоится на сваях. Конструкция состоит из двух мощных плит: нижняя – 3,6 метров высотой (что превышает высоту стандартного этажа) и верхняя – высотой 2 метра, мощного ядра и диафрагмы жёсткости. Такой способ проектирования фундаментов достаточно актуален: к примеру, корейский небоскрёб Lotte Jamsil Super Tower построен на фундаментной плите высотой 6,5 метров. Основание опирается на грунтовый массив, укрепленный бетонными сваями.

Объемы залитого основания – 19624 м³ бетонной смеси - вошли в Книгу рекордов Гинесса. Это на 3000 кубометров больше, чем у прошлого рекордсмена - небоскреба «The New Wilshire Grand Tower» в Лос-Анджелесе. Заливка бетона шла непрерывно в течение 49 часов, и это уже не первый подобный опыт. При строительстве здания ММДЦ «Москва-Сити» «Федерация» была применена непрерывная заливка основания объемом 14000 м³ бетона и длилась эта процедура 84 часа.

Для усиления пространственной жесткости, а также увеличения жесткости на изгиб, противостоянии ветровым, сейсмическим, снеговым и другим нагрузкам в Лахта Центре используется аутригерная система. Суть её заключается в создании и поддержании жесткости конструкции с помощью ядра жесткости, проходящего по всей высоте здания, связанного с крайними колоннами аутригерами (фермы, вертикальные и горизонтальные связи). Высотные здания проектируются с наличием, как минимум, одного ядра жесткости. Чаще всего его располагают по центру, с целью открыть обзорную панораму из помещений, размещенных от внешних стен ядра небоскреба к наружным ограждающим конструкциям здания. Выполняется в виде различных систем обслуживания (лифтовые, лестничные узлы,

технические шахты и др.) [7]. Это считается нетипичной особенностью такого конструктивного решения. Колонны Лахта Центра выполнены с применением новых для России решений в области высотного строительства. Композитные материалы – стальной сердечник и железобетонная оболочка (повышает также огнестойкость конструкций). А запроектированные колонны имеют отклонение от вертикали, и это дает башне особую устойчивость, сложную расчётно, но выполнимую практически.

Вся система в совокупности создает необходимый запас устойчивости, и выдержит землетрясение в 6 баллов. Хотя для Санкт-Петербурга сейсмическая активность не свойственна – город относится к району пятибалльной сейсмической активности.

Лахта Центр имеет минимальную амплитуду горизонтальных колебаний, благодаря принятой конструктивной схеме. Максимальное отклонение от центра под воздействием «среднестатистического» ветра составит 27 см. Это незначительная величина, в сравнении с другими небоскребами и практически неощутима для людей.

Принятая аутригерная система противодействует прогрессирующему обрушению, при котором локальные обрушения одного или нескольких несущих элементов каркаса, вызванных потерей несущей способности, приводит к обрушению всего «скелета» здания. Предотвращение прогрессирующего обрушения в проекте очень актуально и в последние десятилетия - обязательно к исполнению. Прогрессирующее обрушение возможно, когда помимо стандартных воздействий и нагрузок не учтены аварийные ситуации. [8]. В здании запроектировано пять аутригерных этажей, один из которых (на 82 этаже) сделан нестандартным - в виде железобетонной плиты, высотой 1,5 метра. Эти этажи было принято сделать техническими, где будут располагаться коммуникации и оборудование. Таким образом, Лахта Центр – это, гипотетически, четыре невысоких

здания, разделённых между собой аутригерными (техническими) этажами. [9].

С помощью таких конструктивных решений можно успешно проектировать устойчивые высотки в различных вариациях. Конструкторы «Лахта Центра» утверждают, что даже кратковременная деструктивная нагрузка не приведет к серьезным разрушениям. По крайней мере, при поражении периметральных элементов конструкции ядро и аутригеры распределяют нагрузку на неповрежденные элементы.

В Санкт-Петербурге непредсказуемая погода. Необходимо позаботиться о стойкости фасадов к внешним условиям, осадкам. Поэтому проектирование фасадов и ограждающих конструкций, выбор состава материалов и структуры фасадов в общем – важнейшие аспекты комфортного пребывания людей и технического обслуживания фасадов. В Лахта Центре применена технология холодногнутого стекла, которая пришла на смену нагреваемому, от которого прочностные характеристики ослабевают. Такой прием за счёт создаваемого угла изгиба придает конструкции оптический эффект. Принцип холодногнутого стекла заключается в том, что ламинированный пакет укладывают в горизонтально лежащую раму из алюминия, и стекло деформируется под собственным весом. Это сравнительно новое решение для России, использовавшееся ранее только при строительстве башни «Эволюция» в ММДЦ «Москва-Сити» и штаб-квартире банка «Санкт-Петербург». Это вновь подтверждает технологическую современность проекта небоскреба и ставит его в один ряд со многими известными и конструктивно сложными высотными зданиями и сооружениями мира. При этом общая площадь остекления башни – 72500 м² - рекордная величина в мире.

Здание имеет наружные и внутренние ограждающие конструкции фасадов. Что дает им наименование «интеллектуальные фасады».

Образуемое воздушное пространство между стеклопакетами позволяет зданию сохранять тепло и естественно вентилироваться, тем самым экономить на кондиционировании и отоплении помещений.

Шпиль – доминанта процессов монтажа и строительства, стилистически неотъемлемая часть небоскрёба. Шпиль состоит из сборных колонн, стальных ригелей, стеклопакетов и фасадов, выполненных из металлической сетки. Последнее отличает фасады шпиля от фасадов этажей, так как металлическая сетка более лёгкая, снижает парусность конструкции и действие ветровых нагрузок. Все элементы шпиля размещены вокруг ядра башни и продолжают геометрию здания – пирамиду, соответственно соединяя все ее грани к вершине. Установкой занимались промышленные альпинисты, использовавшие электроподъемники. При поднятии его на высоту с помощью кранового троса, индикатор крана показывал высоту 499,9 метра. Функциональная особенность шпиля – это смотровая площадка, превосходящая своей высотой (360 метров) все аналоги России и Европы.

Помимо стеклопакетов фасад облицован металлическими сетками из нержавеющей стали, которые были натянуты на каркас башни из горизонтальных ригелей диагональных импостов.

«Лахта Центр» - глобальный проект строительства, масштабы которого поражают и побуждают воплощать нетипичные концепции. Комплекс построен в форме пятиугольника и имеет возможность поворота на 89 градусов вокруг своей оси. Это решение дало возможность создать расширение здания на первых этажах и сужение к вершине. Такая архитектурная концепция и геометрические идеи еще не были применены ни в одном проекте мира. [10].

Задачи особой важности - предусмотрение и предотвращение всех возможных ЧС в ЛахтаЦентре, связанных с эксплуатацией, выходом из строя

технического и инженерного оборудования, а также других непредвиденных ситуаций. Эвакуация людей в здании таких масштабов – сложнейшее мероприятие, и оно должно быть продуманно детально и выполнено мобильно и в кратчайшие сроки.

В башне запроектировано пять противопожарных лифтовых шахт. Их предназначение – транспортирование пожарных инстанций, но в обычное время лифты используются для перевозки пассажиров. Оборудован он таким образом, чтобы максимально сократить возможность распространения возгораний и сделать эвакуацию людей наиболее комфортной и ускоренной. Предел огнестойкости лифтов достигает 30 минут, двери выполнены самозакрывающимися, с особым уплотнением, которое препятствует проникновению дыма и газа в кабины лифтов на какое-то время.

Основные технические решения при проектировании и строительстве Лахта Центра достаточно эффективны и носят инновационный характер. Концепция всего проекта в целом отличается новизной, передовыми технологиями и прогрессивными идеями.

Строительство на данный момент подходит к своему практическому завершению. Его масштабы и поставленные рекорды говорят об успешном воплощении проекта. И важно по достоинству оценивать проделанную работу, сделав проект «Лахта Центр» достоянием для всей строительной индустрии в целом.

В интернете можно наблюдать большое продвижение мирового высотного строительства. И было бы правильно создать больше обучающих источников, книг и интерактивных ресурсов, взяв за основу уже имеющуюся информацию о Лахта Центре, а также короткометражные ролики, снятые в процессе строительства.

Опыт проектирования и строительства Лахта Центра, современные технологические решения и инновации должны стать примером изучения для той части строительной отрасли, заинтересованной в высотном и уникальном строительстве.

Литература

1. Чернуха Н.А., Горелик П.И., Лепешкина Д.О., Червова Н.А. Оптимальное положение и конструкция аутриггерных систем в высотных зданиях // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2015, № 9 (36), С.19-20.
 2. Шумейко В.И., Пименова Е.В. Современные направления в проектировании уникальных высотных зданий // Проблемы проектирования и строительства уникальных зданий и сооружений, Ростов-на-Дону, 2016, 26 с.
 3. Евтушенко А.И., Олейникова Е.В., Агеева В.А. и др. Развитие высотного строительства в Ростове-на-Дону // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4404.
 4. Burtseva O.A., Chipco S.A., Kaznacheeva O.K., Cherpakov A.V. Vibration control for high-rise constructions // European Journal of Natural History. 2012. № 4. pp. 39-44.
 5. Акопьян В.А., Рожков Е.В., Соловьев А.Н., Шевцов С.Н., Черпаков А.В. Идентификация повреждений в упругих структурах: подходы, методы, анализ // Ростов-на-Дону, 2015, С. 45-46.
 6. Akopyan V., Soloviev A., Cherpakov A. Parameter estimation of predestruction state of the steel frame constructions using finite element and vibrodiagnostic methods// Mechanical Vibrations: Types, Testing and Analysis 2011, pp. 147-161.
 7. Карамышева А.А., Колотиенко М.А., Ковалев В.В., Даниленко И.Ю. Аутриггеры высотных зданий // Инженерный вестник Дона, 2018 №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5090.
-



8. Шумейко В.И., Кудинов О.А., Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2164.
9. Чой Х.С., Хо Г., Джосеф Л., Матиас Н., Проектирование аутриггерных систем // Высотные здания, № 5, октябрь-ноябрь, 2013, 101 с.
10. Лахта Центр - официальный сайт многофункционального комплекса в Санкт-Петербурге URL: lakhta.center (дата обращения: 12.10.2018).

References

1. Chernuha N.A., Gorelik P.I., Lepeshkina D.O. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij, 2015, №9 (36), pp. 19-21.
2. Shumejko V. I., Pimenova E. V. Problemy proektirovaniya i stroitelstva unikalnyh zdaniy i sooruzheniy. Rostov-na-Donu, 2016, p. 26
3. Evtushenko A.I., Oleynikova E.V., Ageeva V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4404.
4. Burtseva O.A., Chipco S.A., Kaznacheeva O.K., Cherpakov A.V. European Journal of Natural History, 2012, № 4, pp. 39-44.
5. Akopyan V.A., Rozhkov E.V., Solovev A.N., Shevczov S.N., Cherpakov A.V. Rostov-na-Donu, 2015, pp. 45-46.
6. Akopyan V., Soloviev A., Cherpakov A. Mechanical Vibrations: Types, Testing and Analysis, 2011, pp. 147-161.
7. Karamysheva A.A., Kolotienko M.A., Kovaliov V.V., Danilenko I. Y. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5090.
8. Shumejko V.I., Kudinov O.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2164.



9. Choj X.S., Xo G., Dzhosef L., Matias N., Vysotnyezdaniya, № 5, 2013, 101 p.
10. LakhtaCentr—oficialnyj sajt mnogofunkcionalnogo kompleksa v Sankt-Peterburge [Official site of the multifunctional complex Lakhta Center in St. Petersburg] URL: lakhta.center (data obrashheniya: 12.10.2018).