КОНСТРУКЦИИ НЕБОСКРЕБА ЛАХТА ЦЕНТР В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Краткое содержание. В статье описаны конструкции самого высокого здания Европы – небоскреба Лахта Центр высотой 462 метра. Здание является штаб-квартирой компании Газпром. Строительство небоскреба Лахта Центр было начато в октябре 2012 года, завершено в 2018 году.

Авторы:

Алексей Шахворостов, канд. техн. наук, генеральный директор

Александр Тимофеевич, руководитель Отдела металлических конструкций

Михаил Десяткин, главный специалист

ООО Инфорспроект, 2018 год

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Описание объекта

Небоскреб Лахта Центр предназначен для размещения головного офиса компании Газпром, крупнейшей газодобывающей компании России. Здание высотой 462 метра, расположенное в городе Санкт-Петербурге на берегу Балтийского моря,является самым высоким в Европе.Лахта Центр имеет 86надземных и три подземных этажа. В уровне верхнего, 86 этажа, расположена смотровая площадка. Каждые 16 этажей в башне расположены по два технических этажа, в которых помимо инженерного оборудования расположены сталежелезобетонные аутригеры, повышающие общую жесткость здания. Эти технические этажи поэтому еще называются аутригерными. Всего в башне 4 аутригерных уровня, расположенных на 17 и 18, 33 и 34, 49 и 50, 65 и 66 аутригерных (технических) этажах. В остальных этажах располагаются офисы компании Газпром.

Здание имеет закрученную конусообразную форму. Плиты перекрытий имеют форму 5 квадратных лепестков, соединенных между собой круглым центральным ядром. По мере увеличения высотной отметки квадратные «лепестки» вращаются вокруг своей оси против часовой стрелки. Кроме того, «лепестки» по высоте становятся меньше, а их центр смещается в сторону оси круглого ядра здания.

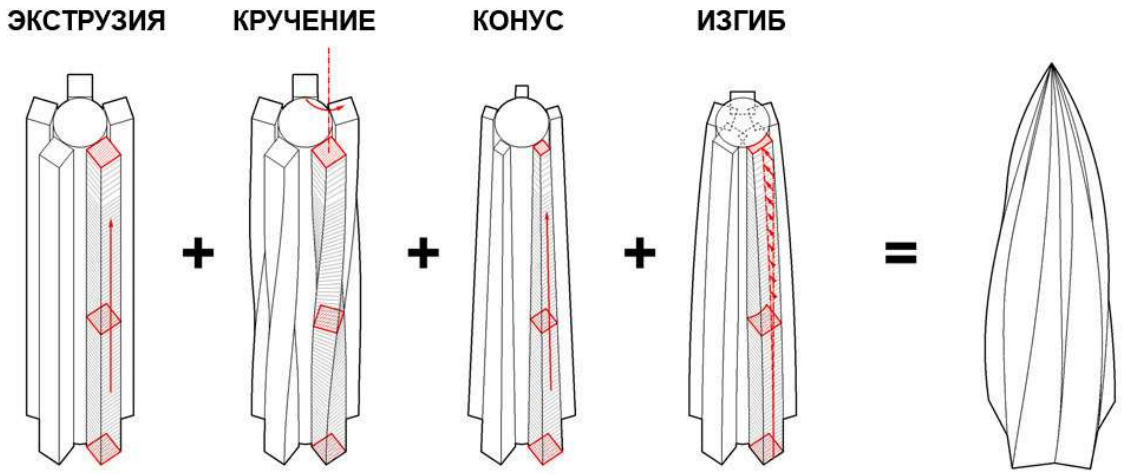
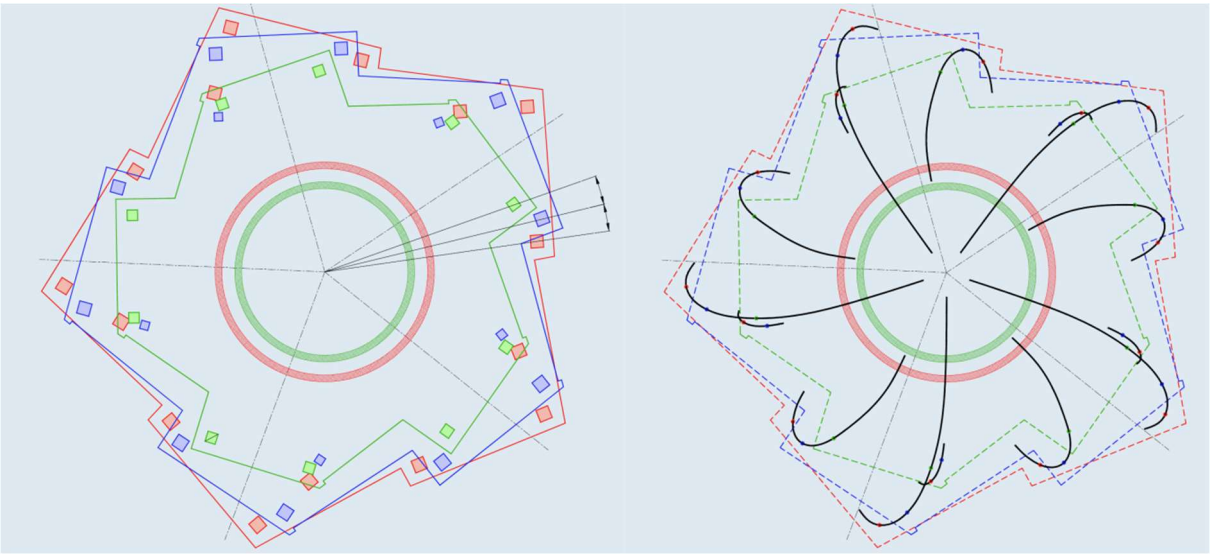


Схема построения геометрии Башни



Совмещенные планы 19, 39 и 59 этажей

Надземная часть здания в уровне 1-го этажа вписана в пятиугольник с длиной стороны (между осями колонн) 35.2 м. До 16-го этажа размеры каждого последующего этажа надземной части здания увеличиваются, после 16-го этажа - уменьшаются.

1.2 История проекта

История создания создания проекта небоскреба начинается еще с конца 2006 года, когда архитектурная компания RMJM London выиграла архитектурный конкурс на проектирование небоскреба головного офиса компании Газпром в районе Охта, расположенном близко к историческому центру города Санкт-Петербург. В 2008 году тендер на проектирование строительных конструкций небоскреба, называющегося тогда Охта Центр, выиграла компания Инфорспроект. В 2011 году проект небоскреба, находящийся в высокой степени готовности, был отменен в связи с резкой критикой общественности города Санкт-Петербург из-за опасений нарушения гармонии исторического центра города. В этом же, 2011 году началось проектирование небоскреба на новом месте на берегу Финского залива Балтийского моря. Комплекс получил название Лахта Центр. Хотя визуально небоскреб изменился незначительно, габариты его в плане выросли на 10%, высота увеличилась на 66 метров с 396 до 462 метров. Последней значительной корректировке проект небоскреба Лахта Центр подвергся в 2014-2015 годах, когда заказчик в лице дочерней компании Газпром пригласил для участия в проекте компанию SamsungC&T.

Концепция комплекса Охта Центр

Концепция комплекса Лахта Центр

Местоположение башен Охта Центр и Лахта Центр на карте Санкт-Петербурга

1.3 Данные об участниках

Объект:
Лахта Центр, Санкт-Петербург

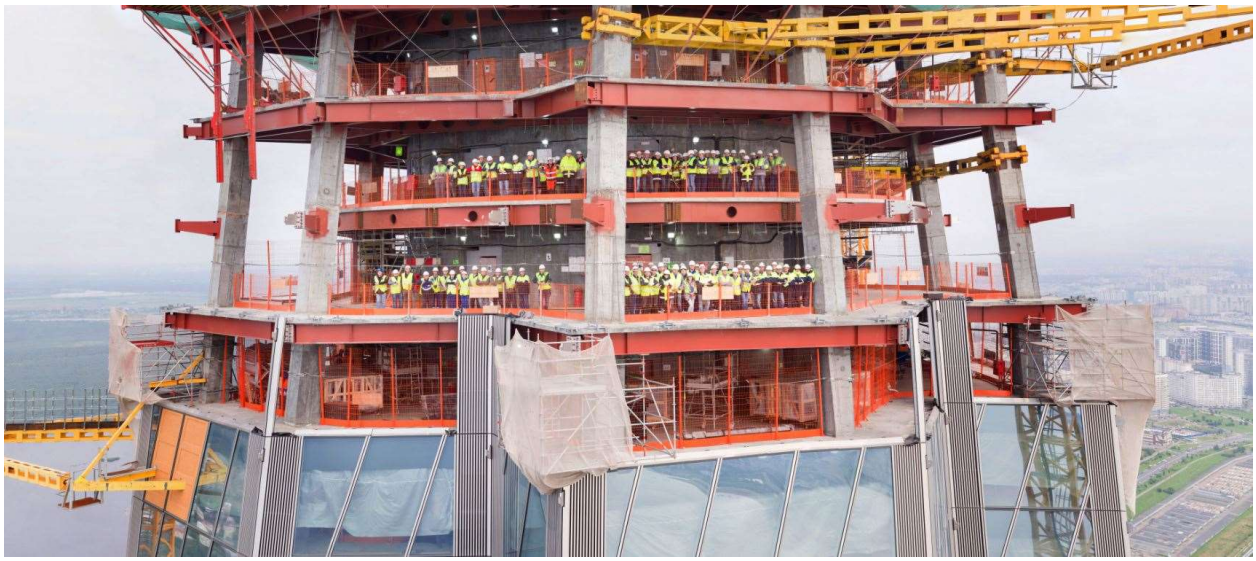
Инвестор:
Газпром

Архитектура:
RMJM, Горпроект

Конструкции:
Инфорспроект, Горпроект

Управление проектом:
AECOM, Samsung C&T

Генподрядчик:
Ренейссанс Констракшн



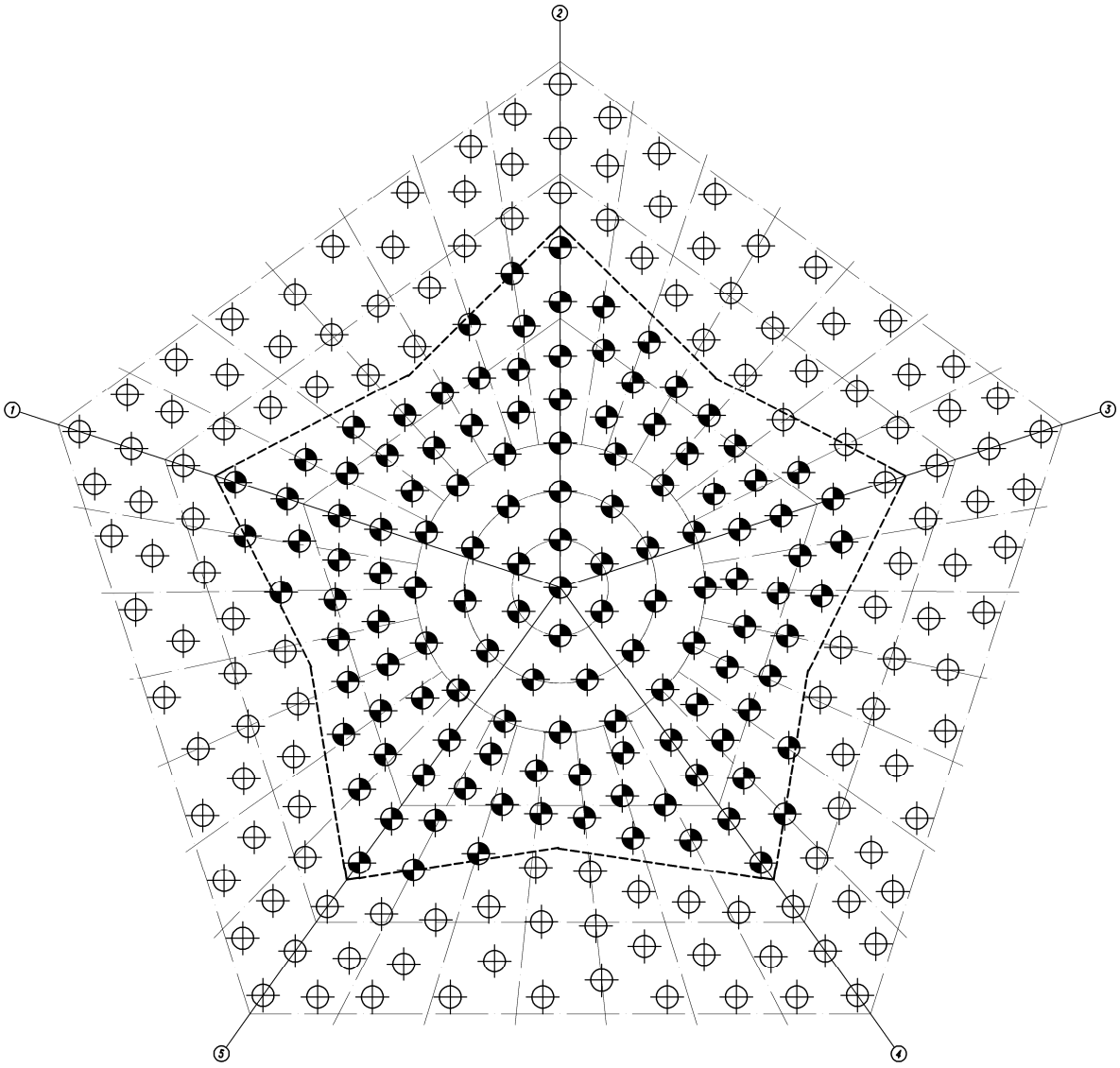
Сотрудники компаний Самсунг, Горпроект и Инфорспроект на башне Лахта Центр

2. РЕШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1 Конструкции фундамента

Проект башни Лахта центр потребовал от его разработчиков решения большого количества сложных инженерных задач. Одной из них было проектирование конструкций фундамента. Особенностью строительной площадки Лахта Центра было наличие глинистых грунтов невысокой несущей способности. Толщина таких грунтов составляла около 20 метров. Начиная с глубины примерно 20 метров начинались твердые вендские глины, которые и были использованы в качестве несущего основания здания. Скальные грунты – песчаники – начинались на глубине около 100 метров.

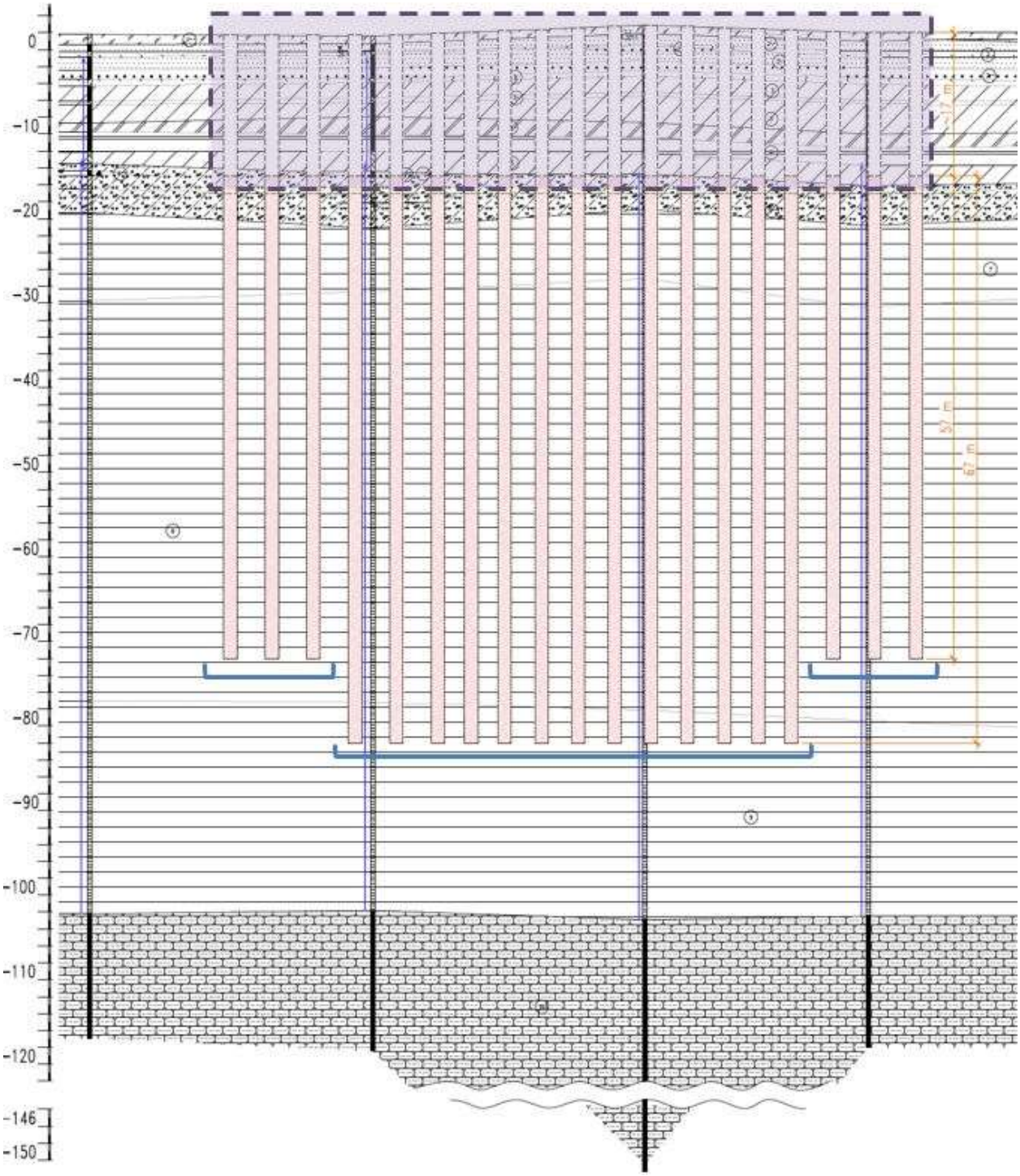
Свайное основание Башни состоит из 264 буронабивных свай диаметром 2000 мм и длиной 55 и 65метров, расположенных с шагом от 4 до 6 метров или от 2 до 3 диаметров свай. Поскольку буронабивные сваи выполнялись с поверхности земли, а не со дна котлована, фактическая глубина бурения под сваи была 72 и 82 метра соответственно. Расчетная несущая способность свай длиной 55 метров составила 3600 т согласно нормам и 6400 т по результатам испытаний методом O-cell. Расчетная несущая способность свай длиной 65 метров составила 4300 т согласно нормам и 7700 т по результатам испытаний методом O-cell.



Сваи длиной 65метров от дна котлована

Сваи длиной 55метров от дна котлована

План свайного основания башни Лахта Центр



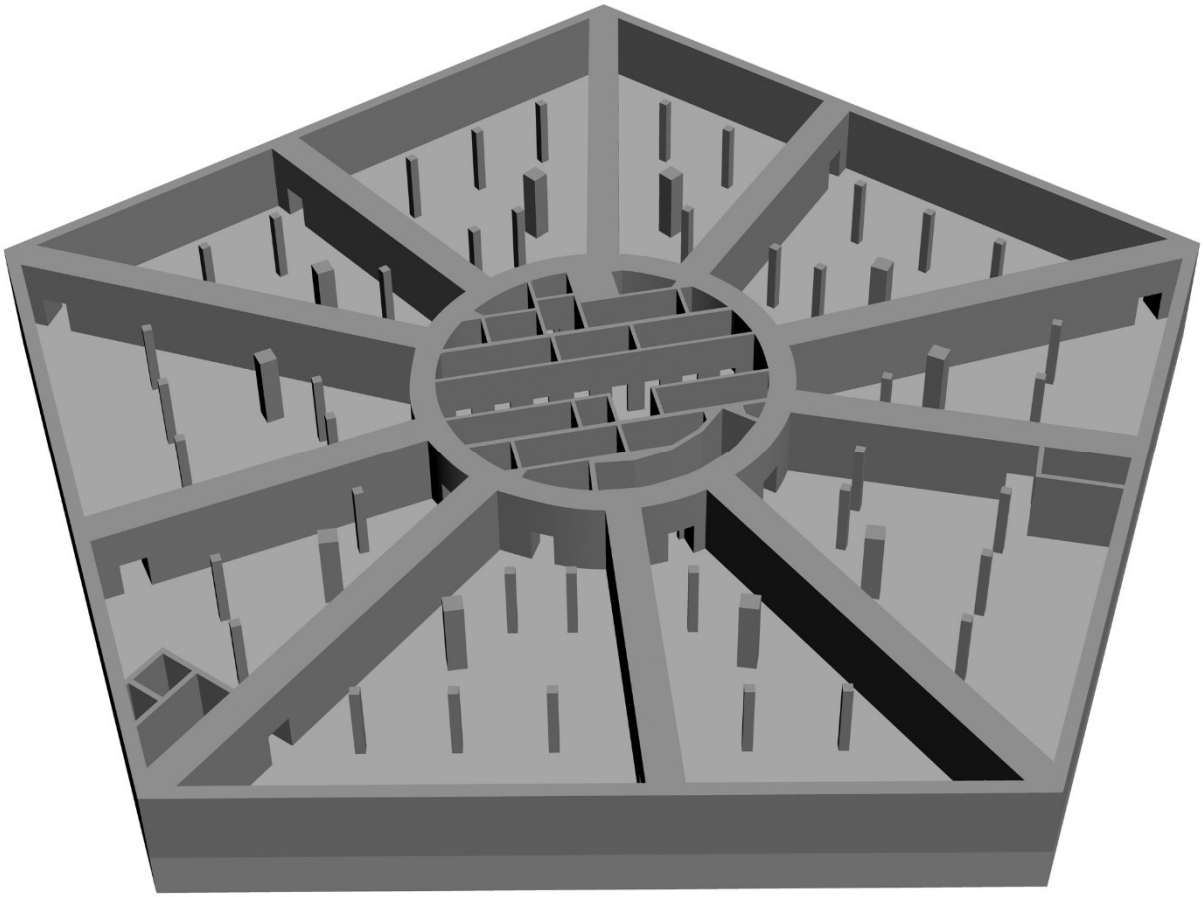
Разрез свайного основания башни Лахта Центр

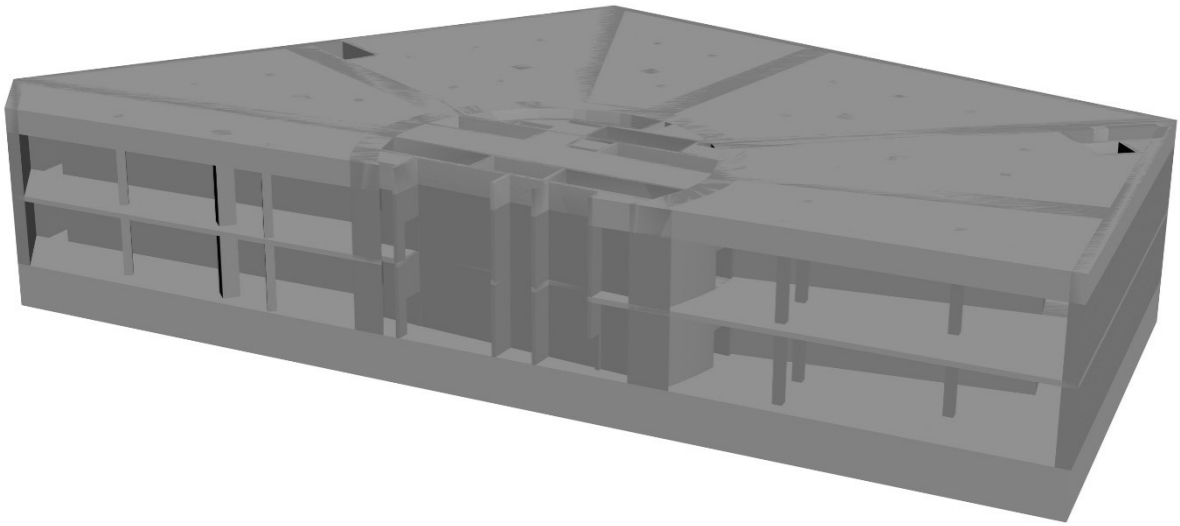
Вес здания от нормативных нагрузок, включая вес коробчатого фундамента, составляет 493 000 тонн. Значительная (около 70%) часть этих нагрузок приходится на небольшой участок диаметром 26 метров или 530 м^2, ограниченный круглым центральным ядром башни. Давление под подошвой фундамента на этом участке составляло 6500кПа. Поскольку напрямую передать на грунт основания такую колоссальную нагрузку было невозможно, перед авторами проекта стояла задача максимально распределить это давление на периферию. Первоначальные

расчеты, проводившиеся для определения требуемой толщины фундаментной плиты (без образования коробчатого фундамента) показали, что с точки зрения равномерности осадок недостаточно традиционной фундаментной плиты толщиной даже 7-8 метров. Осадка под ядром составляла порядка 180 мм, тогда как на периферии величина осадки была около 60 мм. Первым шагом в решении возникшей проблемы было распределение нагрузок с зоны ядра на периферию за счет диафрагм жесткости. Вторым логичным шагом стало появление верхней плиты, объединяющей всю систему в единый коробчатый фундамент, обеспечившей более экономичное решение. Расчеты показали, что такой фундамент обладает высокой жесткостью (разность осадок между зоной ядра и периферией не превышает 25-30 мм) и успешно справляется с задачей снятия и равномерного распределения нагрузки с ядра диаметром 26 метров на равносторонний пятиугольник (пентагон) подземной части здания с длиной стороны 57.5 м.После всех этих мероприятий среднее давление под подошвой фундамента башни от нормативных нагрузок составило 870 кПа.

В итоге в проекте башни Лахта Центр был принят коробчатый фундамент. Нижняя плита, расположенная на относительной отметке -17.650, имеет толщину 3600 мм, верхняя плита, расположенная на относительной отметке -4.650, выполнена толщиной 2000 мм. Совместную работу нижней и верхней плит коробчатого фундамента обеспечивают 10 диафрагм жесткости толщиной 2500 мм, расходящихся от ядра здания в радиальном направлении. В коробчатом фундаменте был применен бетон класса В60 с дополнительными требованиями по водонепроницаемости, усадке и экзотермии.

Сложные вопросы возникали и при строительстве коробчатого фундамента. Так, из-за высокого уровня напряжений, пятиугольной формы фундамента и других особенностей башни потребовалось единовременное бетонирование нижней плиты коробчатого фундамента толщиной 3.6 метра объемомпочти 20 000 м^3, что на тот момент оказалось мировым рекордом, и после возведения было зафиксировано в книге рекордов Гиннесса. В середине августа 2015 года возведение конструкций коробчатого фундамента было завершено.



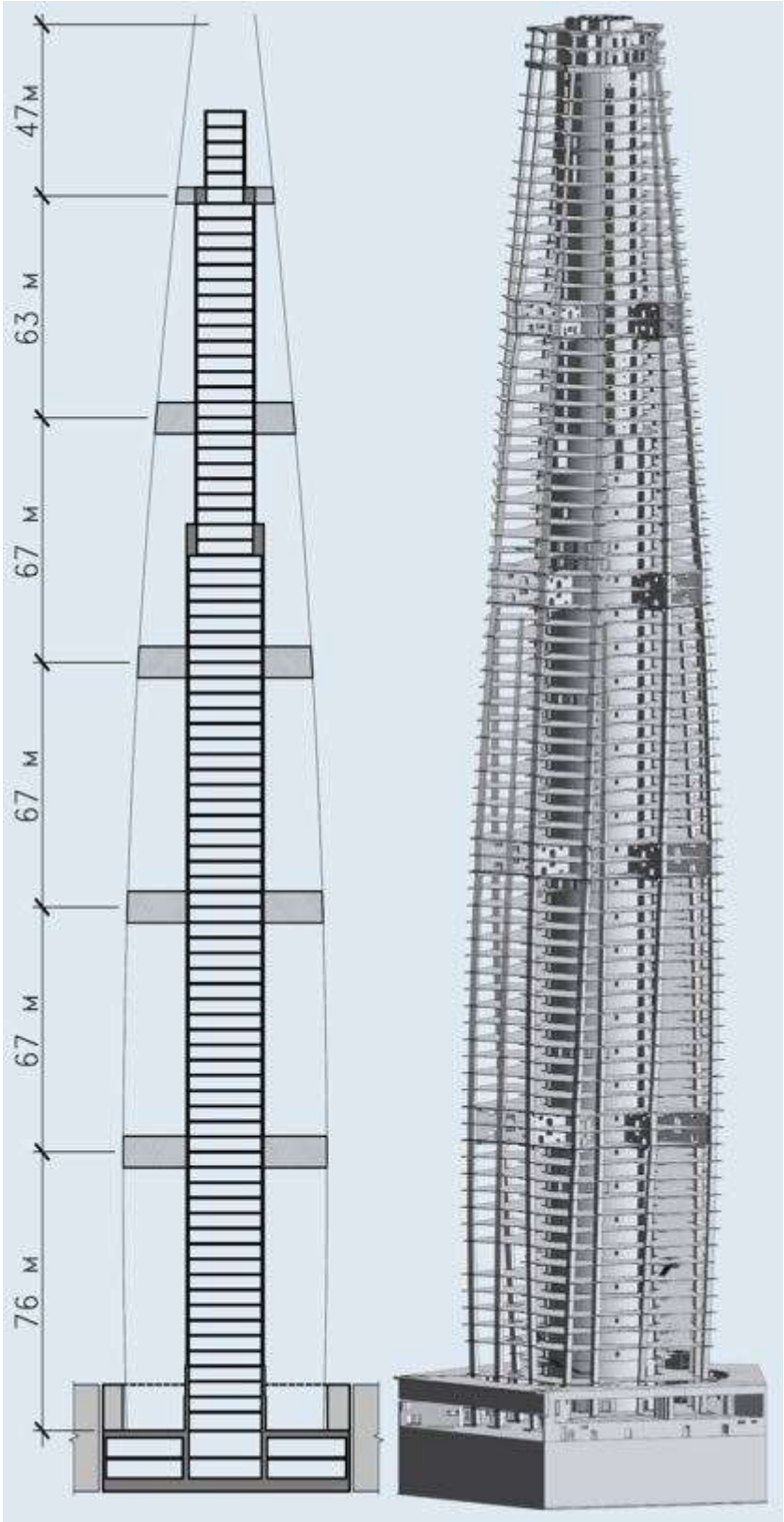


3D виды коробчатого фундамента башни

2.2 Конструкции надземной части

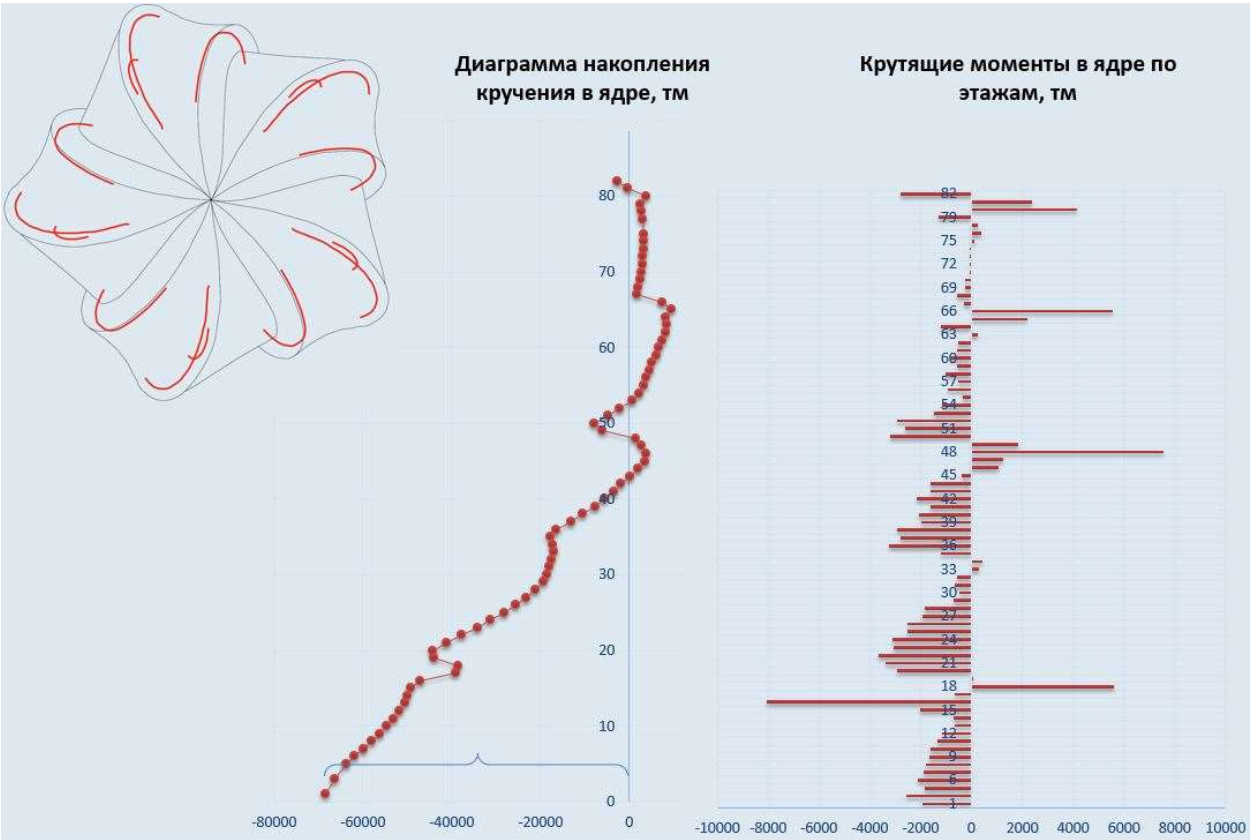
Главными несущими конструкциями башни являются центральное железобетонное ядро и 10 сталежелезобетонных колонн по периметру. Для уменьшения пролетов в здании были введены еще 5 сталежелезобетонных колонндо уровня 56-го этажа. Дополнительную жесткость здания и его

устойчивость к прогрессирующему обрушению обеспечивают двухэтажные аутригеры, расположенные по высоте башне каждые 16 этажей.



3D вид и схема расположения аутригеров башни Лахта Центр

Глобальное кручение. Глобальное кручение в дисках перекрытий и ядре здания - постоянный силовой фактор, являющийся особенностью данного здания, имеющего закрученную форму. Передача глобального кручения от горизонтальной составляющей усилий в местах изломов осей колонн осуществляется через диски перекрытий на ядро здания. Для восприятия постоянного усилия глобального кручения принята круглая форма ядра Башни. Такое решение в наибольшей степени отвечает требованиям к данному типу силовых воздействий, поскольку круглая форма сечения наиболее эффективно работает на кручение.

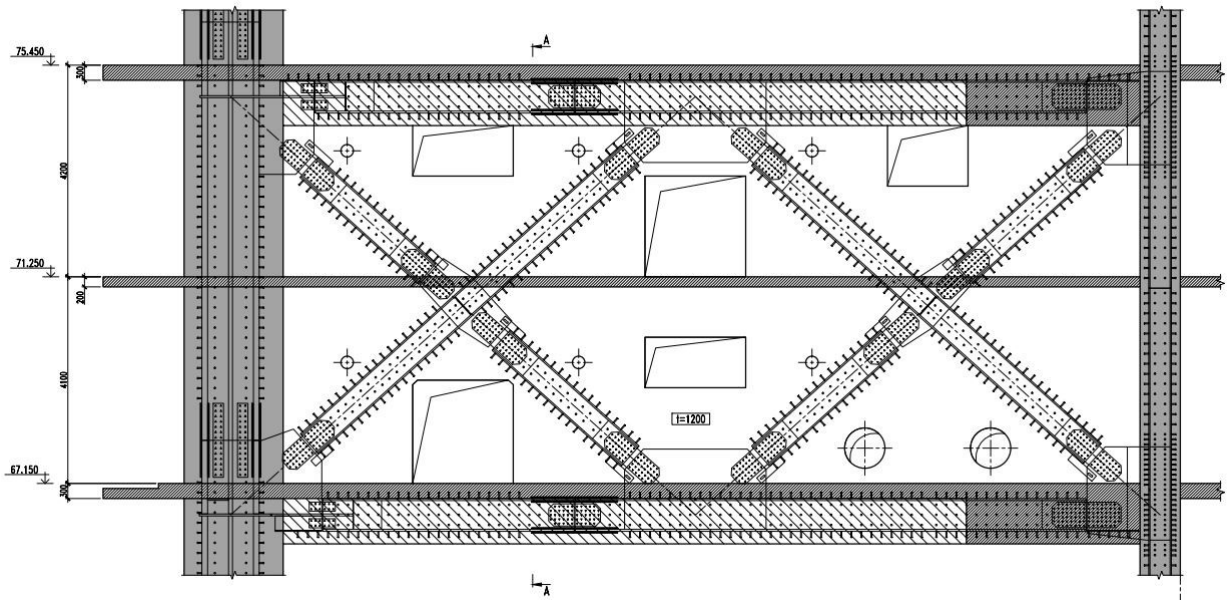


Аутригеры. Конструктивная схема здания – каркасно-ствольная. Жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой ядра и 10 сталежелезобетонных колонн по периметру, соединенных между собой аутригерами, расположенными в уровне 17–18, 33–34, 49–50, 65-66 этажей. Все указанные этажи являются техническими. Распределительная плита над 80-м этажом выполняет роль верхнего аутригера здания. Центральное железобетонное ядро является основным элементом, обеспечивающим восприятие горизонтальных нагрузок. Однако, в связи с тем, что отношение диаметра ядра к высоте здания, составляет около 1/17, жесткости одного ядра оказалось недостаточно для выполнения требований норм по горизонтальному отклонению верха здания и предельному ускорению колебаний верхних этажей (комфортности пребывания). Введение аутригеров позволило уменьшить горизонтальные

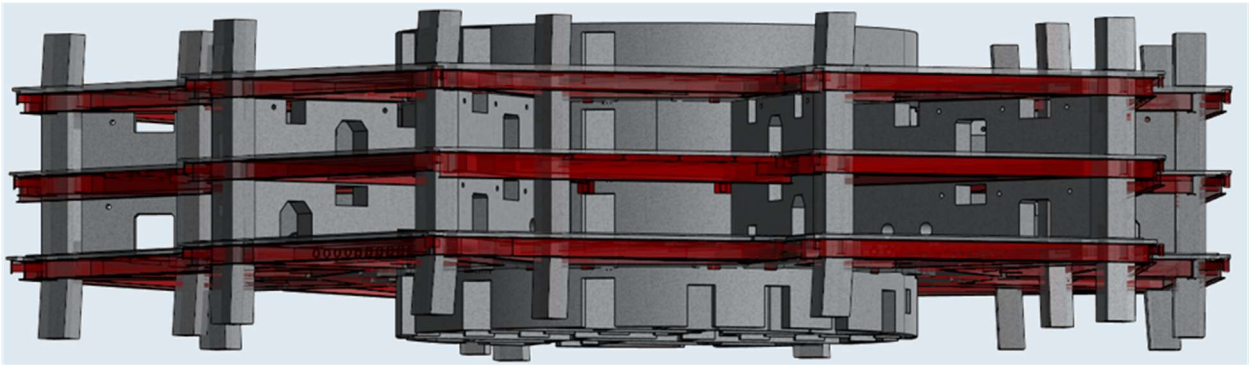
перемещения верха здания от действия ветровых нагрузок и обеспечить комфортность пребывания на верхних этажах Башни.

Аутригеры запроектированы в виде железобетонных балок-стен, с инсталлированными в тело железобетона стальными фермами. В аутригерных балках применен бетон класса по прочности на сжатие В80.

Стальные фермы рассчитаны на восприятие ветровых воздействий на период возведения здания, до включения в работу железобетонных аутригеров. Материал конструкций аутригерных ферм – сталь С390 (10ХСНДА-3).



Конструкция аутригера



3D вид аутригерного уровня

Центральное железобетонное ядро. Центральное железобетонное ядро круглой формы является основным несущим конструктивным элементом башни.

Ядро воспринимает вертикальные и горизонтальные нагрузки, в т.ч. постоянное кручение, вызываемое формой здания, и передает их на фундамент.

Толщина наружных стен ядра на -3 и -2 этажах 2500 мм, на -1 и 1 этажах 2000 мм, на 2 и 3 этажах 1700 мм, на 4 и 5 этажах 1400 мм, на 6 и 7 этажах 1100 мм, с 8 по 67 этажи 800 мм, с 68 по 80 этажи 600 мм, с 81 по 89 этажи 400 мм. Толщина наружных стен ядра определяется как условиями расчетов на все виды воздействий, так и требованиями конструирования (количество и расположение отверстий и проемов, кратность шагу арматурных сеток и т.д.).

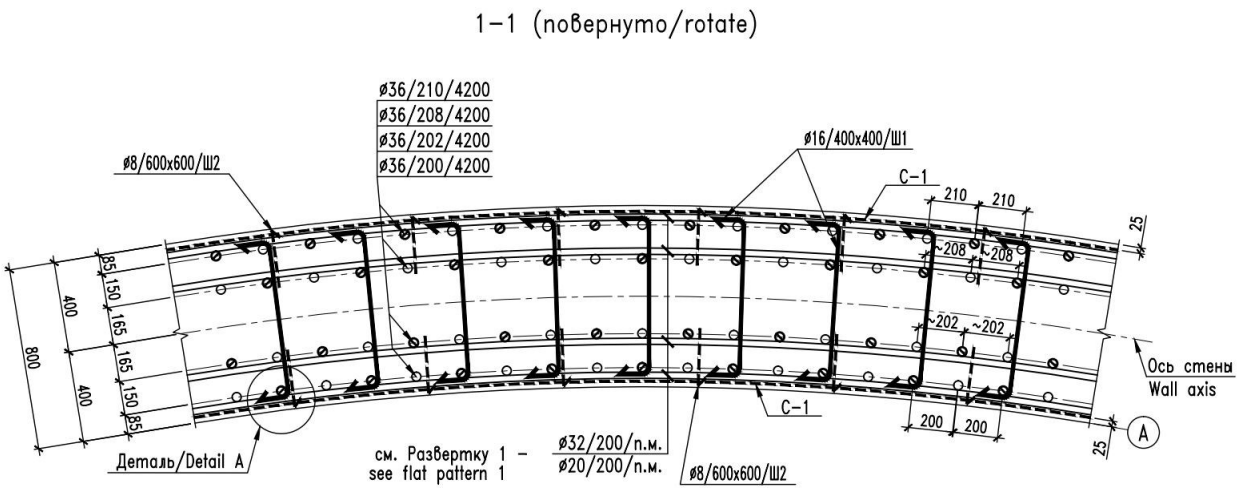
Наружный диаметр ядра с 8 по 58 этаж составляет 26.1 м; начиная с уровня 59 этажа до 80 этажа наружный диаметр ядра уменьшается до 21.0 м.

В уровнях 17–18, 33–34, 49–50, 65-66 этажей к наружным стенам ядра крепятся аутригеры (по 10 штук на каждый уровень). В целях усиления ядра в уровне верхнего и нижнего пояса аутригеров выполнены кольцевые монолитные железобетонные балки.

Для крепления металлических балок перекрытий офисных (типовых) этажей в наружных стенах ядра предусмотрены закладные детали. Кроме усилий от прикрепления балок указанные закладные детали воспринимают сдвигающие усилия от глобального кручения башни.

В ходе разработки проекта при конструировании особое внимание уделялось равномерному размещению дверных проемов и коммуникационных отверстий в наружных стенах ядра в целях обеспечения равномерного распределения жесткости по его периметру.

В стенах центрального ядра башни применен бетон класса по прочности на сжатие В80.



Фрагмент армирования стены центрального ядра

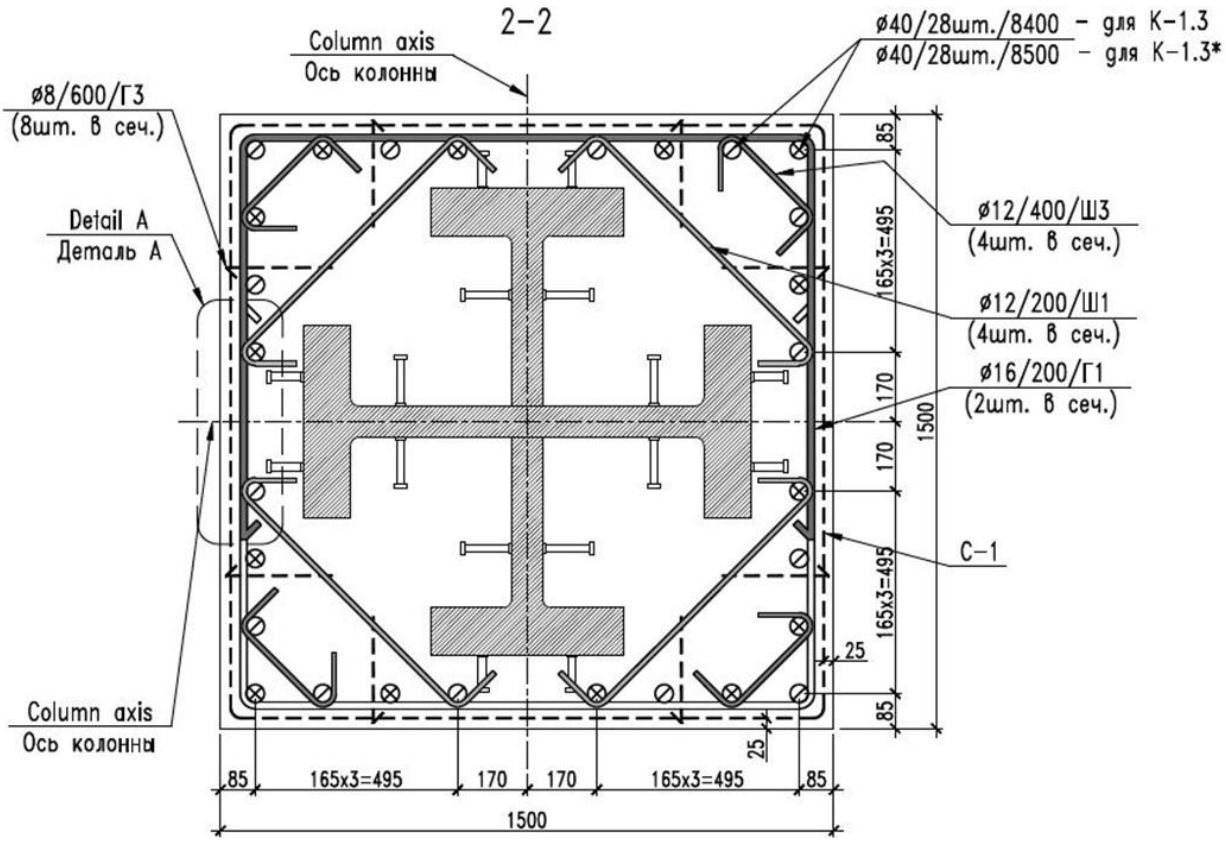
Конструкции сталежелезобетонных колонн. 10 сталежелезобетонных колонн по периметру башни участвуют в восприятии как вертикальных гравитационных нагрузок, так и горизонтальных ветровых нагрузок за счет соединения через аутригеры с центральным ядром. Для уменьшения пролетов в здании были введены еще 5 сталежелезобетонных колонн до уровня 56-го этажа. Эти колонны воспринимают только вертикальные нагрузки.

Сталежелезобетонные колонны состоят из металлического сердечника и обетонировки. Материал сердечников колонн – сталь HISTAR 460 Russia производства ArcelorMittal. Сердечники колонн выполнены крестового сечения из двутавров серии HL по ASTM A 6/A 6M-12 и тавровых сечений, полученных роспуском двутавров HL. Элементы стержня колонны свариваются поясными угловыми швами.

В соответствии с архитектурной концепцией башни сталежелезобетонные колонны расположены по спирали, тем самым повторяя закрученную поверхность фасада здания. Поворот оси металлического сердечника колонны производится в уровнях нечётных этажей. Стык в уровне излома сердечника колонны выполняется на фланцевых листах из стали класса С440 по ГОСТ 27772-88. Для непосредственной передачи горизонтальнойсоставляющей усилия в месте излома оси колонны этот заводской стык сердечника колонны выполняется в уровне плиты перекрытия. Монтажный стык сердечника колонны выполняется в другом месте, на 1200 мм выше плиты перекрытия. Монтажные стыки металлических сердечниковвыполняются на болтах и располагаютсячерез каждые два этажа здания. Сжимающие усилия в монтажных стыках сердечников передаются через фрезерованные торцы элементов, растягивающие усилия (возникают при расчете на прогрессирующее обрушение)передаются через накладки из стали С345-3 по ГОСТ 27772-88* на высокопрочных болтах М30 класса прочности 10.9.

Для обеспечения совместной работы стального сердечника колонны с железобетоном на сердечник на заводе-производителе были установлены гибкие упоры (стадболты).

Обетонировка сталежелезобетонных колонн выполнялась из бетона класса по прочности на сжатие В80.



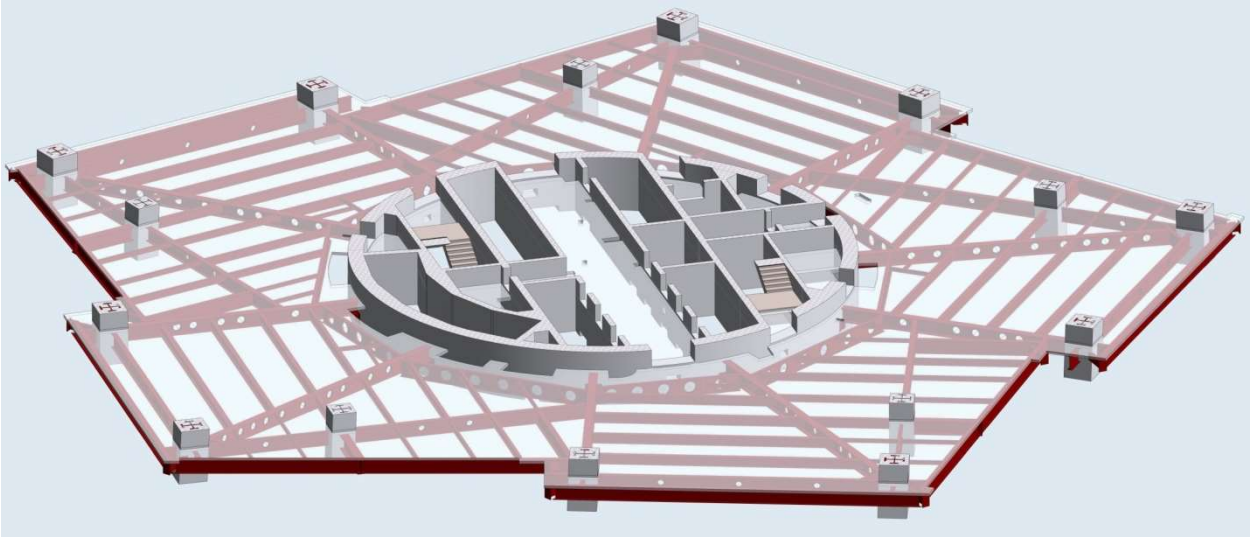
Сечение сталежелезобетонной колонны

Конструкции перекрытий. Перекрытия башни за пределами ядра сталежелезобетонные, по несъемной опалубке из профилированного листа с опиранием на металлические балки. Толщина таких плит перекрытий составляет 150 мм, применен бетон класса по прочности В40. Совместная работа железобетонных плит перекрытий с металлическими балками перекрытий обеспечивается за счет приварки к верхним поясам металлических балок гибких упоров (стадболтов). Металлические балки выполнены из прокатных профилей по СТО АСЧМ 20-93 сечениями до 40Б2 включительно, балки большей высоты запроектированы сварными, двутаврового сечения, высотой от 750 до 1200 мм. Материал металлических балок – сталь С345-3 по ГОСТ 27772-88, С390 (10ХСНДА) по ГОСТ Р 55374-2012. Узлы и монтажные стыки балок – фрикционные, на высокопрочных болтах М24 класса прочности 10.9 с контролируемым натяжением, примыкание балок к железобетонным конструкциям центрального ядра – на монтажной сварке к закладным деталям.

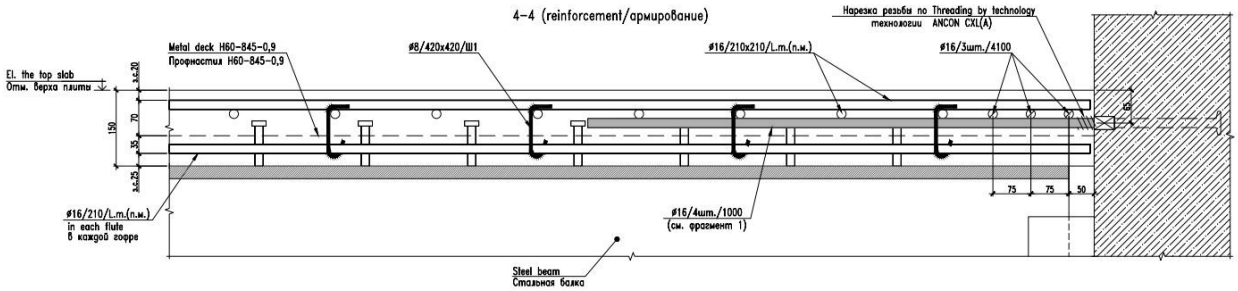
Учитывая особенности архитектурного решения здания (закрученная спиралевидная форма), каждый диск перекрытия должен воспринимать значительные горизонтальные усилия, возникающие из-за изломов осей колонн и передавать постоянные усилия глобального кручения на ядро здания. В связи с

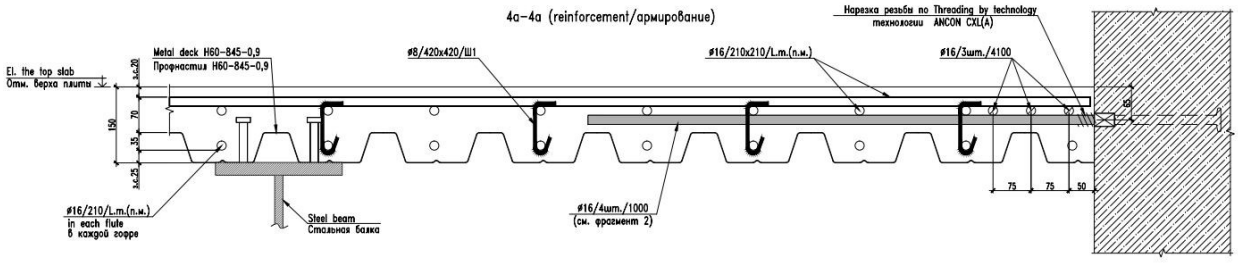
этим предусмотрены следующие решения, учитывающие особенности работы дисков перекрытий:

- применение усиленного фонового армирования монолитной плиты перекрытия для передачи растягивающих и сдвигающих усилий от наклонных колонн к ядру здания;
- применение арматурных каркасов и стадболтов, обеспечивающих передачу усилий глобального кручения на ядро здания. Необходимость данных каркасов обусловлена также наличием большого количества коммуникационных каналов по периметру наружной стены ядра.



3D вид сталежелезобетонного перекрытия





Фрагмент сталежелезобетонного перекрытия

2.3 Конструкции шпиля

Шпиль башни функционально и конструктивно делится на два объёма:

- эксплуатируемая отапливаемая часть, являющаяся завершением объёма башни и включающая в себя смотровые площадки, лифты и пандусы для подъёма на них;

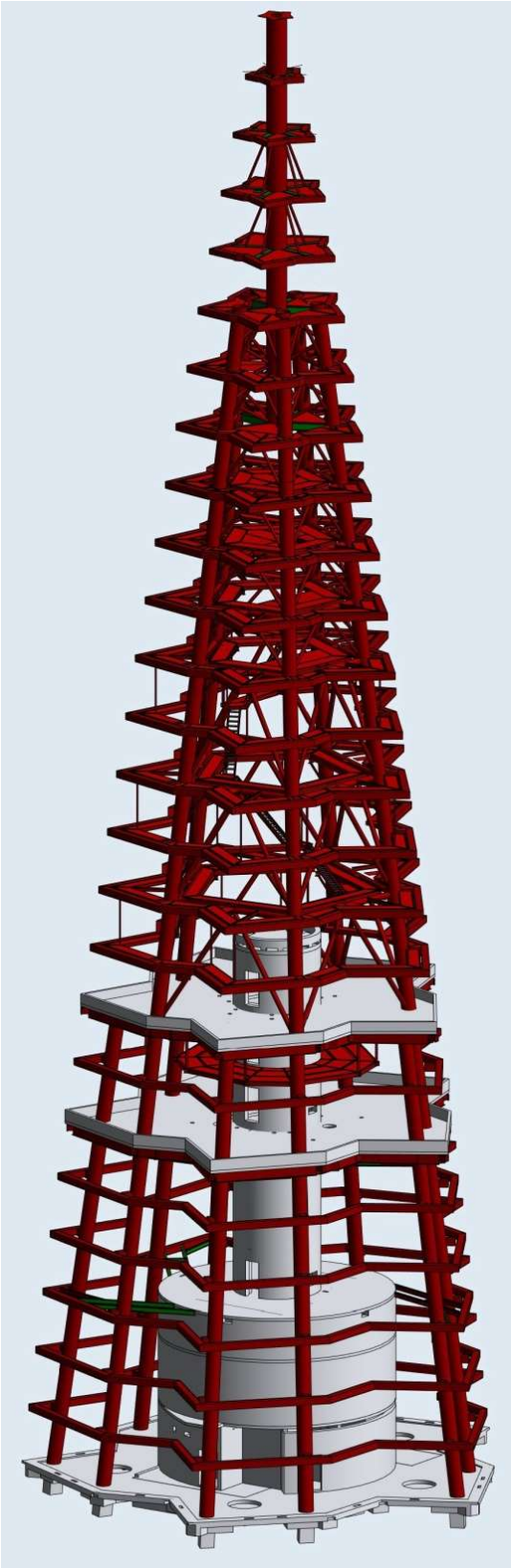
- техническая (не отапливаемая) часть выше отметки 87 этажа, имеющая фасадное ограждение в виде стальной сетки.

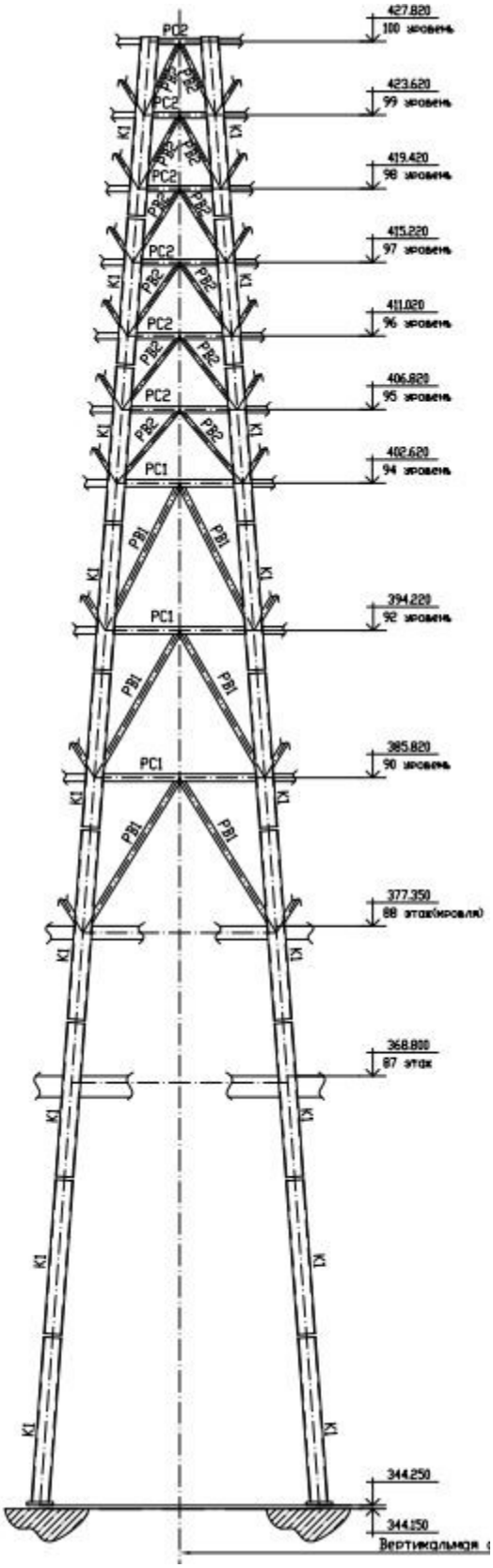
Шпиль башни запроектирован в виде пятигранной пирамиды, расположенной вокруг центрального железобетонного ядра башни, и опирающейся на перекрытие 83 этажа на отметке 344.400 в местах расположения колонн здания Башня. Высота шпиля - около 118 метров, ширина грани у основания пирамиды шпиля - около 16,3 метра.

Колонны шпиля в уровне 83 этажа опираются на колонны здания по осям сечений, и расположены в вертикальной плоскости с наклоном к оси здания.

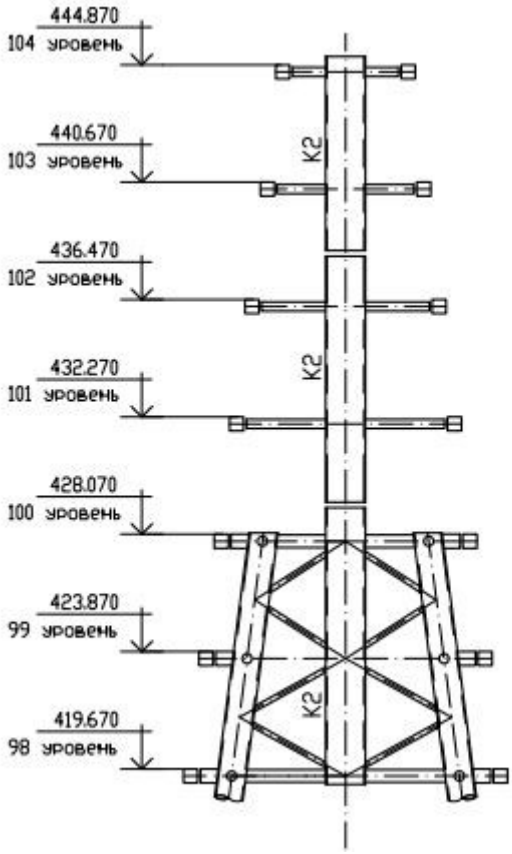
На отметке 87 этажа (368,800) расположено перекрытие для размещения оборудования обслуживания фасада, а на отметке 88 уровня (377,350) – перекрытие, отделяющее нижнюю эксплуатируемую зону шпиля от верхней технической. Выше отметки 377,350 этажа колонны пирамиды шпиля объединены системой треугольных вертикальных связей. Общая устойчивость конструкции шпиля обеспечена совместной работой с центральным ядром здания, а также (выше отметки 88 уровня 377,350) системой вертикальных связей между колоннами.

Колонны, распорки и вертикальные связи шпиля запроектированы из круглых труб.Завершение шпиля выполнено в виде стальной трубы диаметром 1420 мм с расположенной внутри стремянкой для доступа к верхней точке шпиля.Монтажные соединения элементов шпиляпредусмотрены фрикционного типа, на высокопрочных болтах и на монтажной сварке.





Конструкция шпиля

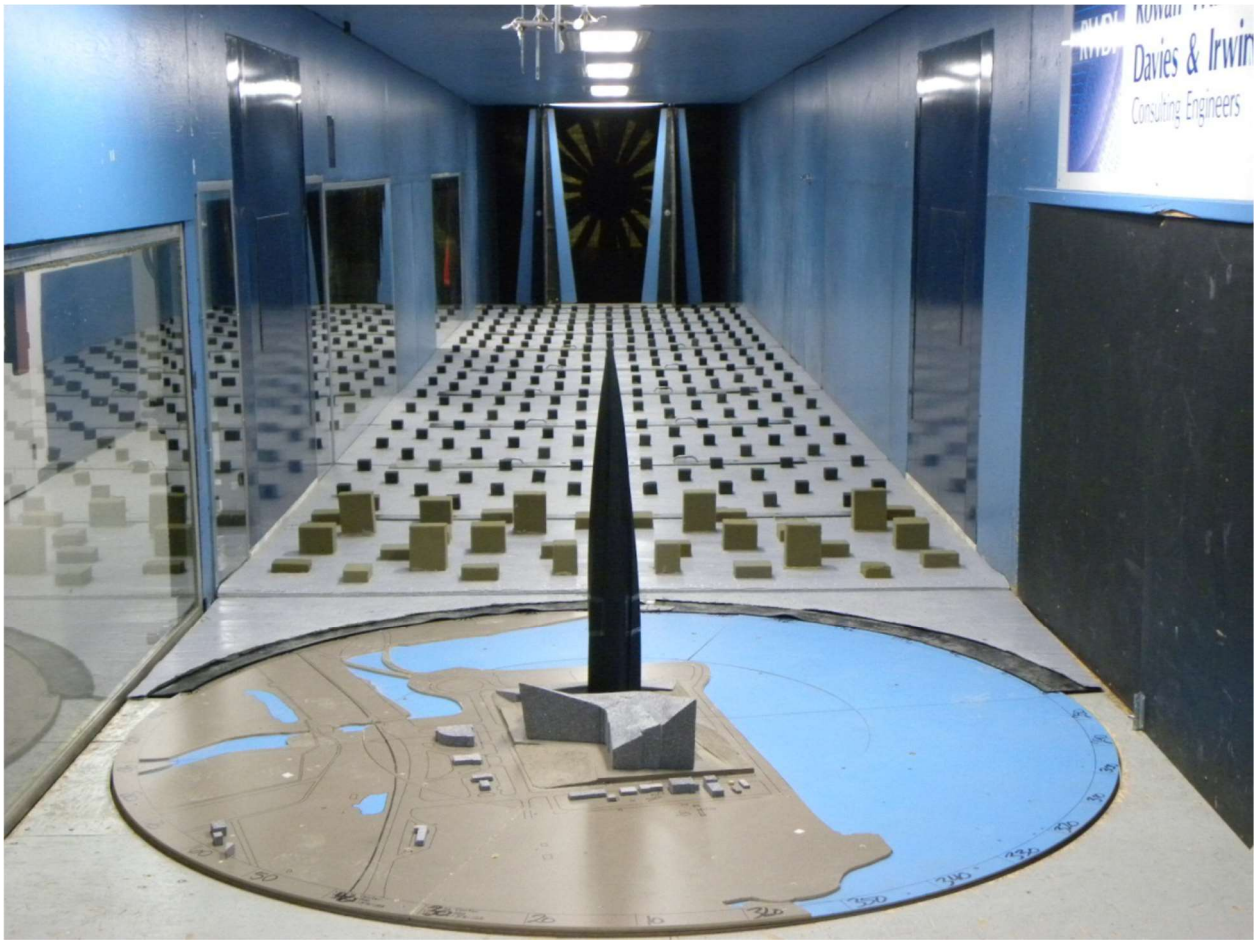


Конструкция верха шпиля

3. РАСЧЕТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Основные расчеты строительных конструкций башни Лахта Центр выполнялись в программном комплексе Лира САПР. Проверочные расчеты выполнялись в ПК Софистик. Общее число конечных элементов в модели башни составляло 524 000. Жесткость свайного основания под коробчатым фундаментом башни была назначена путем задания стержневых конечных элементов с адресными жесткостями, соответствующими жесткостям конкретных свай. В процессе расчета жесткость всех 264 свай уточнялась методом итераций. Для назначения жесткости железобетонных и сталежелезобетонных элементов конструкций использовался приведенный модуль деформаций.

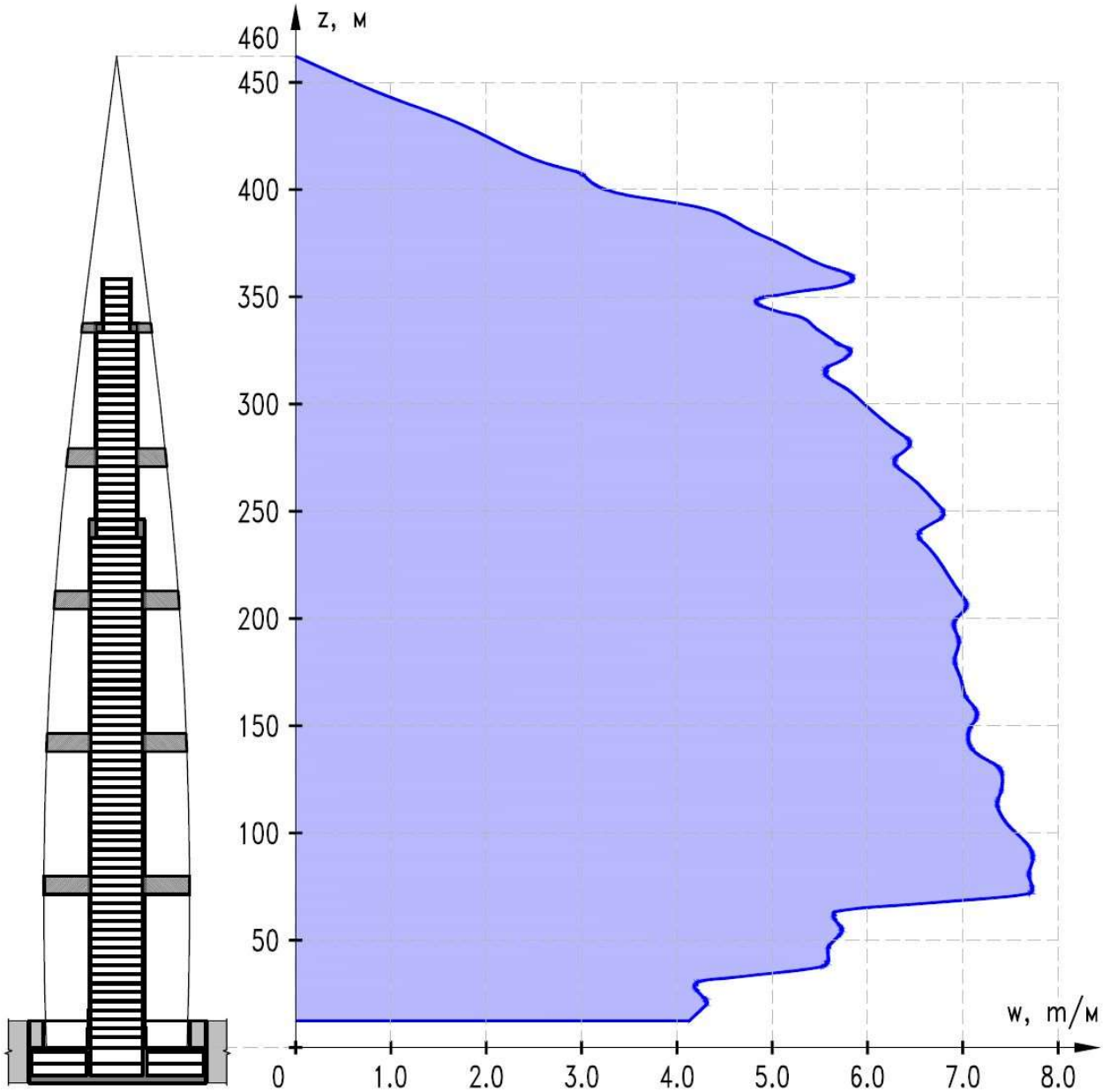
Вертикальные нагрузки на здание принимались в соответствии с действующими нормами проектирования и техническими заданиями. Интересно отметить факт, что собственный вес всех конструкций башни и все постоянные нагрузки (ненесущие материалы и конструкции) составили 84% от полного нормативного веса башни 493 000 тонн (с учетом веса коробчатого фундамента). Наряду с гравитационными нагрузками при расчете башни определяющими были ветровые нагрузки. Исследование модели башни Лахта Центр в аэродинамической трубе выполняла компания RWDI.



Вид модели Лахта Центра в аэродинамической трубе RWDI

Пульсационная составляющая ветровой нагрузки на башню определялась на основе динамического расчета в ПК Лира САПР с учетом значения логарифмического декремента затухания δ = 0.2.

Сумма всех горизонтальных сил от действия расчетной ветровой нагрузки составила 4836 т, в т.ч. от средней составляющей ветровой нагрузки – 3079 т (64%) и от пульсационной составляющей ветровой нагрузки – 1758 т (36%). Значение момента от действия полного расчетного ветра в уровне верха нижней плиты коробчатого фундамента – 937900 тм (628200 тм от средней составляющей ветровой нагрузки и 309700 тм – от пульсационной).



Эпюра средней составляющей расчетной ветровой нагрузки

Моделирование расчетной схемы конечными элементами. Свайное основание под коробчатым фундаментом башни смоделировано стержневыми конечными элементами с адресными жесткостями. Железобетонные плиты перекрытий подземной части здания и железобетонные стены (включая наружные и внутренние стены ядра) заданы оболочечными конечными элементами, несущие колонны и балки в составе перекрытий – стержневыми. Перекрытия этажей надземной части башни смоделированы следующим образом: элементы балочной клетки – стержневыми элементами, диски перекрытий по профилированному настилу – оболочечными элементами, имеющими общие узлы с узлами балок. Для анализа напряженного состояния

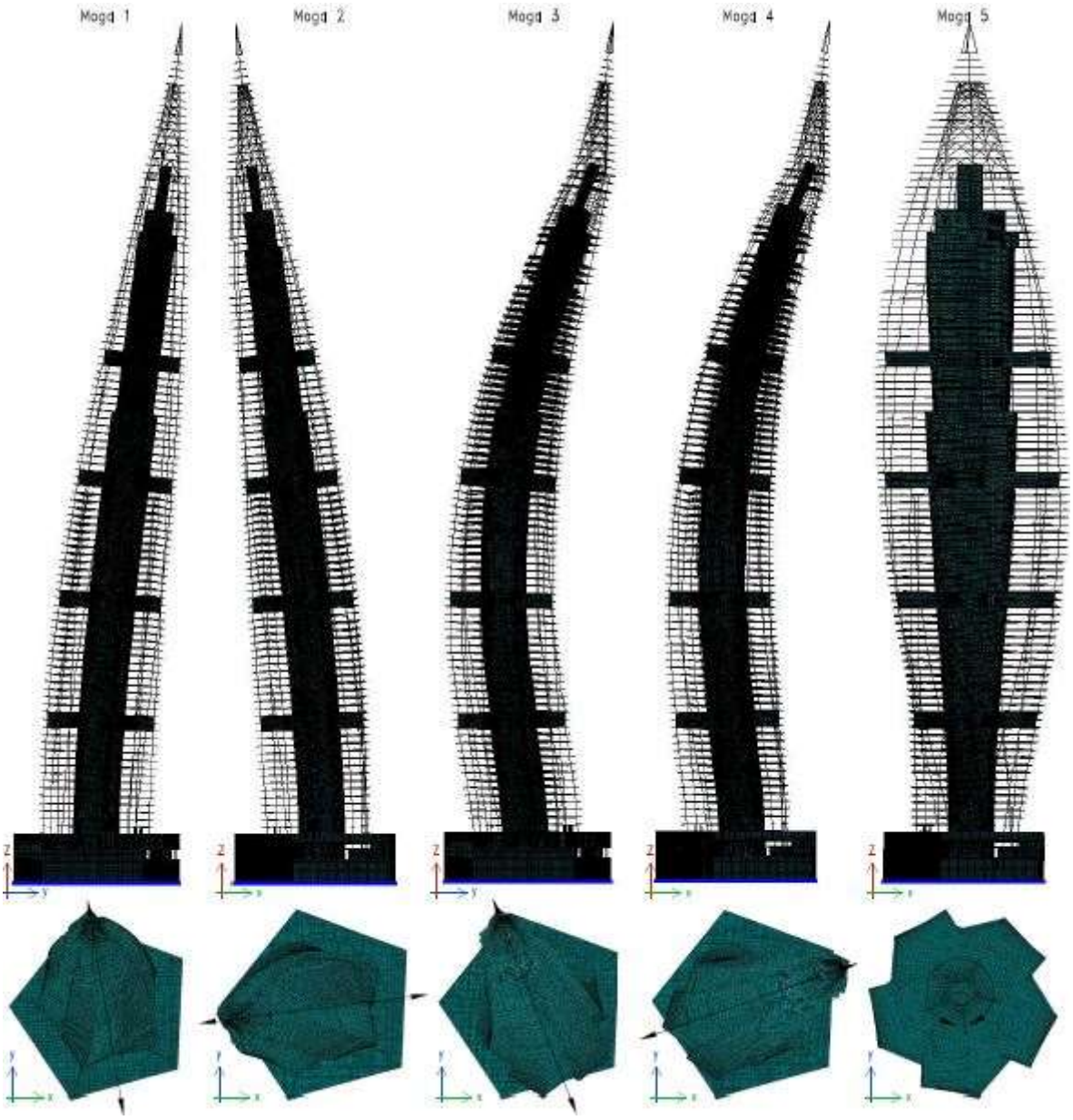
ядра, а также проверки несущей способности перемычек, в наружных стенах ядра учтены проемы. Шаг разбиения стен на конечные элементы - 1.0 м. Металлические конструкции надземной части здания – колонны, балки перекрытий – заданы стержневыми элементами. Сталежелезобетонные колонны замоделированы стержневыми конечными элементами с приведенной жесткостью. Стены аутригеров заданы оболочечными конечными элементами с жесткостью, не учитывающей наличие сердечника в виде монтажной металлической фермы. Такое допущение сделано, поскольку жесткость монолитной стены обетонировки аутригера толщиной 1200 мм значительно превышает жесткость фермы. Все остальные конструкции учтены в расчетной схеме соответствующими нагрузками.

Модальный анализ. При расчете собственных частот здания были приняты нормативные длительные значения вертикальных нагрузок, при этом коэффициент надежности по ответственности γ_n не учитывался. Величины частот основных форм собственных колебаний и периодов, модальные массы которых вносят наибольший вклад в динамическую работу здания, приведенные в таблице 6.2. Так, суммарная модальная масса первых восьми форм собственных колебаний соответствует примерно 75% общей модальной массе. Модальный анализ учитывал около 100 форм собственных колебаний.

Результаты модального анализа

Моды колебаний	Частота f_i, Гц	Период T_i, с	Круговая частота ω_i, с$^{-1}$
1	0.112	8.95	0.70
2	0.114	8.74	0.72
3	0.495	2.02	3.11
4	0.523	1.91	3.29
5	0.747	1.34	4.69
6	0.988	1.01	6.21
7	1.066	0.94	6.69
8	1.326	0.75	8.33

Моды колебаний	Частота f_i, Гц	Период T_i, с	Круговая частота ω_i, с$^{-1}$
9	1.734	0.57	10.89
10	1.860	0.54	11.69
11	1.951	0.51	12.26
12	1.977	0.51	12.42
13	2.622	0.44	14.21
14	2.514	0.40	15.80



Формы собственных колебаний башни Лахта Центр

Оценка комфорности пребывания на верхних этажах башни. Значения горизонтального смещения верха и ускорения колебаний перекрытий верхних этажей от пульсаций ветра – ключевые показатели эксплуатационной пригодности высотного здания.

Значения горизонтального смещения верха здания от ветрового воздействия

Рассматриваемый уровень	Высота H, м	Нормативные перемещения от составляющих ветровой нагрузки		Сумма Δ_n, мм	Относительное смещение верха здания Δ_n / H
		от средней Δ_n^m, мм	от пульсац. Δ_n^g, мм		
Плита перекрытия	340.05	191	102	293	1/1176

верхнего офисного этажа					
Плита смотровой площадки	356.85	204	109	313	1/1155
Основание верхней части шпиля	428.07	301	161	462	1/937

Примечание. Для определения значения высоты за низ башни принималась отметка верха коробчатого фундамента: -4.650

Значение горизонтального смещения верха башни почти в два раза меньше значения, предельно допустимого нормами:

$$\Delta_n/H=1/937 \leq [1/500]$$

Ускорение, вызываемое действием пульсационной (динамической) составляющей ветровой нагрузки, вычислялось на основании первых 14 собственных частот, чьи значения меньше предельной. Ускорение $a_d = a_x$ вычисляется по формуле:

$$a_x = \sqrt{\sum_{i=1}^{n=14} (0.7 \cdot {\omega_i}^2 \cdot \Delta_{xi})^2},$$

где $\omega_i = 2\pi f_i$ - круговая частота, полученная в ходе модального анализа (см. табл. 6.2);

Δ_{xi}– перемещение точки, для которой производится вычисление ускорения, от действия нормативной пульсационной (динамической) составляющей ветровой нагрузки.

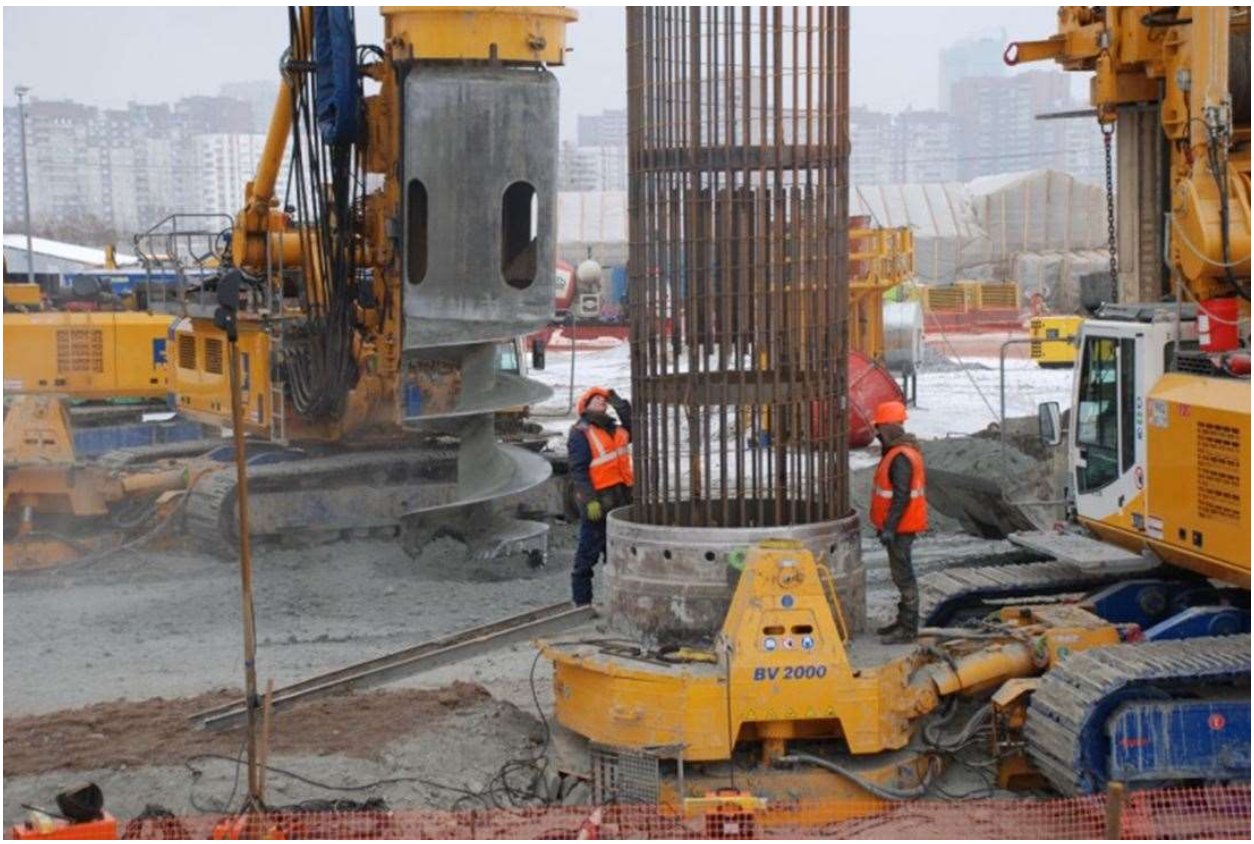
Таблица 6.4. Результаты расчета ускорений колебаний верхнего этажа

№ моды	Круговая частота ω_i, рад/с	Перемещение Δ_{xi}, мм	$0.7 \cdot {\omega_i}^2 \cdot \Delta_{xi}$, мм/с^2	№ моды	Круговая частота ω_i, рад/с	Перемещение Δ_{xi}, мм	$0.7 \cdot {\omega_i}^2 \cdot \Delta_{xi}$, мм/с^2
1	0.70	2.4	0.82	8	8.33	0	0
2	0.72	94.3	34.22	9	10.89	0	0
3	3.11	0	0	10	11.69	0	0
4	3.29	0.4	3.03	11	12.26	0	0
5	4.69	0	0	12	12.42	0	0
6	6.21	0.2	5.40	13	14.21	0.2	28.27
7	6.69	0.6	18.80	14	15.80	0	0
				Итоговое ускорение $a_x =$			48.61

Ускорение колебаний, определенное для перекрытия верхнего офисного этажа, составило 0.0486 м/с^2, что в 1,65 раза ниже предельно допустимого значения ускорения колебаний перекрытий верхних этажей, согласно требованиям СТУ на проектирование башни Лахта Центр, равного 0.08 м/с^2.

4. ЭТАПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА

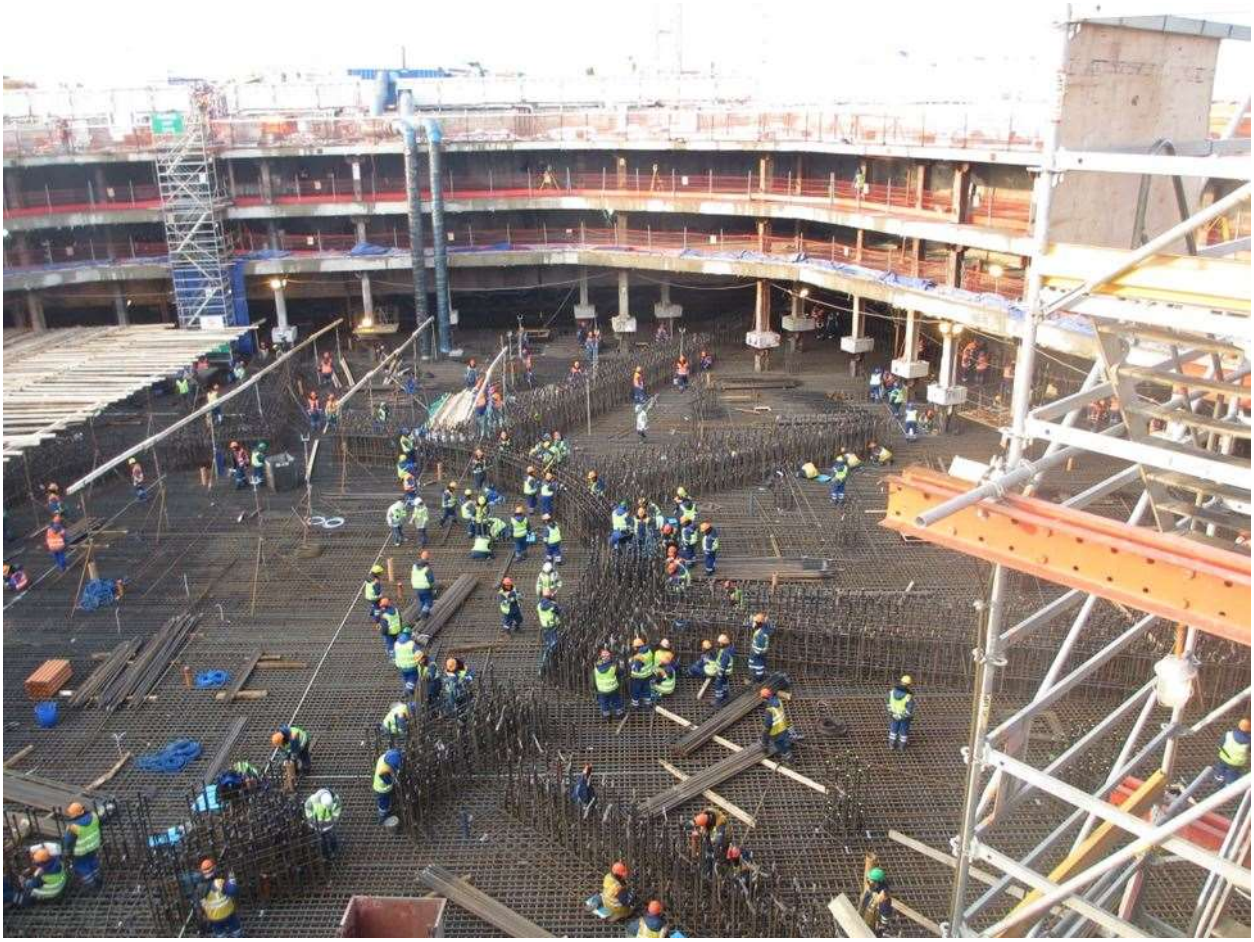
Строительство небоскреба Лахта Центр было начато в октябре 2012 года. Сначала с уровня поверхности земли были выполнены 264 сваи диаметром 2 метра длиной 55 и 65 метров (или 72 и 82 метра, если считать с уровня поверхности земли). Затем было выполнено ограждение котлована с применением конструкции «стены в грунте» и монолитных железобетонных дисков по периметру методом “Semi-top-down”.



Монтаж каркаса буронабивной сваи

Конструкции ограждения котлована

Следующим важным этапом было возведение конструкций коробчатого фундамента, включающего в себя два подземных этажа башни. Общий объем бетона в коробчатом фундаменте – 46 000 м^3. Объем бетона в нижней плите коробчатого фундамента толщиной 3,6 метра составлял порядка 19624 м^3. Этот результат был отмечен в книге рекордов Гиннеса как наибольший объем непрерывного бетонирования.



Армирование коробчатого фундамента

При строительстве надземной части башни активно использовались передовые технологии возведения. Изначально с опережением в среднем на 5-7 этажей над другими нижележащими конструкциями шло изготовление железобетонного центрального ядра башни. Затем шел монтаж металлических конструкций сердечников сталежелезобетонных колонн, металлических балок перекрытий. Заключительным шагомэтой технологии возведения конструкций башни было бетонирование сталежелезобетонных колонн и плит перекрытий.

Строительство первых этажей башни

Возведение металлоконструкций аутригерного уровня

Шпиль башни высотой 118 метров начали монтировать с уровня 83 этажа на отметке 344.400. Верх шпиля расположен на отметке 462 метра. Монтаж шпиля был завершен в начале 2018 года.

Монтаж шпиля. *Фото: V.Gusik*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Башня Лахта Центр – продукт труда большой команды проектировщиков, строителей, представителей заказчика. Этот объект является рекордным по нескольким показателям: Лахта Центр является самым высоким зданием в Европе и самым высоким зданием в мире, в котором закрученная форма обеспечивается наклоном несущих колонн (а не одной фасадной оболочки). При возведении фундаментной плиты башни был зафиксирован рекорд по объему бетонирования без перерыва. Реализация этого проекта подняла уровень строительной отрасли и компетенций, способствовала появлению норм проектирования, например, Свод правил Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

Башня Лахта центр *Фото: Виктор Сухоруков*