

АХМАТ ТАУЭР

ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ



В прошлом году мы начали серию публикаций о проектировании и строительстве уникального и грандиозного по масштабу объекта в центре города Грозного – многофункционального сверхвысотного комплекса «Ахмат Тауэр», названного в честь первого Президента Чеченской Республики, Героя России Ахмата-Хаджи Кадырова. В приведенной ниже статье рассказывается о решении основных проектных задач и инженерных изысканиях, выполненных ведущими мировыми компаниями, привлеченными для реализации проекта компанией-девелопером ООО «СМАРТ БИЛДИНГ» при участии компании-застройщика ООО МФК «Ахмат Тауэр». В материале рассказывается о сложностях проектирования такого типа объектов в условиях ограниченной нормативной базы, требований к разработке специальных технических условий и проведения научно-технического сопровождения.

Ключевые слова:
конструктивная схема с повышенной дактильностью, нелинейные пластичные деформации, сейсмическое воздействие, аэродинамические испытания, демпфирующая система, прессиометрические испытания, статическое и динамическое зондирование, жимаемая зона, трехосные испытания, параметры консолидации, фундаменты глубокого заложения

Иллюстрации предоставлены Группой компаний «СМАРТ»

Автором проекта МФК «Ахмат Тауэр» является американское архитектурное бюро «Adrian Smith + Gordon Gill Architecture». Это первый проект, реализуемый в нашей стране международно признанной компанией разработчиков самого большого здания в мире «Burj Khalifa» в ОАЭ. Выбор такого престижного и всемирно известного архитектора – Эдриана Смита повлек за собой ряд следующих важных решений со стороны технического заказчика и девелопера проекта компании «СМАРТ БИЛДИНГ». Путем тщательного отбора генеральным конструктором стала корпорация «Thornton Tomasetti», генеральным проектировщиком – ЗАО «ГОРПРОЕКТ», в процессе работ над разными стадиями и этапами проекта привлекались и привлекаются профильные компании, как российские, так и международные, признанные

Генеральный директор ООО МФК «Ахмат Тауэр» Адам Хусейнович Докаев

Создание и строительство столь значимого и величественного объекта в столице Чеченской Республики накладывает на нас, компанию заказчика-застройщика, огромную ответственность. Перед историей, перед жителями и руководством страны и региона. Мы испытываем невероятную гордость за то, что именно нам выпал шанс войти в историю строительства республики, как людям, которые принимали участие в возведении МФК «Ахмат Тауэр».



профессионалы в своей области. Тесное взаимодействие исполнителей, при четкой координации и контроле выполнения работ девелопером, позволило обеспечить качественную подготовку необходимой проектной документации и гарантировать



Архитектурный ансамбль МФК «Ахмат Тауэр», ТРЦ «ГРОЗНЫЙ МОЛЛ» и парк «Каусар»

В статье использованы материалы и интервью

ООО «СМАРТ БИЛДИНГ»: Л. Раковский, Г. Малолеткин, В. Мельников
 Thornton Tomasetti: Л. Зборовски, Д. Перонте, Ю. Балыбердина, С. Терентьев
 ЗАО «ГОРПРОЕКТ»: Д. Вишняков
 Langan International: Алан Попэл
 RWDI: Роберт Самэр
 НИИОСП им. Н.М. Герсеванова: к.т.н. А. Труфанов, к.т.н. О. Шулятьев, к.т.н. С. Шулятьев
 «Росстройизыскания»: А. Манучарянц
 ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта: проф. Е. Рогожин
 ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко: к.т.н. А. Попов

надежность и безопасность возведения каждого конструктивного элемента строящейся башни.

Необходимо отметить факт участия в проекте американской и канадской ведущих компаний, которые являются редкими игроками на российском рынке строительства. Это компании «Langan International» и «RWDI». Первая являлась геотехническим консультантом и проектировщиком свайного основания, а вторая – консультантом по аэродинамическим нагрузкам и разработке демпфирующей системы.

Компания «Langan International» помимо консультаций по инженерным изысканиям провела независимую оценку сейсмических рисков на площадке строительства, а также выполнила моделирование серий дальних землетрясений, что было исполь-

зовано в проектировании небоскреба. По мнению представителей компании, главный опыт, который они получили в работе над проектом, – это умение работать с особенностями российской нормативной базы, которая разительно отличается от западного аналога. Пришлось учитывать локальные методы проведения изысканий, нормы и правила применительно к расчетам буронабивных свай для сейсмостойчивого строительства. Поэтому девелопером было принято решение проводить исследования, используя и западные, и российские методики. И только когда результаты удовлетворяли обе стороны, принималось положительное заключение о соответствии всем требованиям.

В рамках реализации проекта были изучены геотехнические параметры геологической среды, несущие свойства грунтов и количественная оценка интенсивности проявления опасных геологических процессов. Результаты этих исследований послужили основой для принятия обоснованных решений при выборе конструктивной схемы, обеспечивающей безопасность эксплуатации комплекса.

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ

Решающим фактором в выборе конструктивной схемы для генерального конструктора проекта компании «Thornton Tomasetti» явился сам факт экстремальной сейсмичности района строительства и наличие высоких ветровых нагрузок. Корпорация «Thornton Tomasetti» использовала накопленный опыт высотного проектирования в районах повышенной сейсмической активности в штате Калифорния и в таких странах, как Тайвань, КНР, Индонезия, Азербайджан, Турция и многих других. Для сравнения: параметры сейсмических воздействий в районе строительства превышают аналогичные параметры в г. Сан-Франциско в 1,50 раза. Уровень сейсмических нагрузок при такой экстремальной высоте башни требовал создания уникальной конструктивной схемы, легкой по весу, с повышенной дактильностью (конструктивной гибкостью) и одновременно с высокой жесткостью. Необходимо заметить, что из-за особенностей функционального назначения здания, конкретно отсутствия развитого лифтового ядра, использование конструкций центрального ядра оказалось неэффективным и нерациональным с точки зрения включения его в систему восприятия боковых нагрузок. Поэтому такие общепринятые конструктивные схемы, как железобетонный каркас, или железобетонное, или стальное центральное ядро с аутригерными системами, показали свою несостоятельность и недостаточную конструктивную гибкость, необходимую для абсорбции и рассеивания энергии землетрясения. Также была принята во внимание высокая скорость ветра в районе строительства, близкая к прибрежным зонам.

Выбранная конструктивная схема для МФК «Ахмат Тауэр» является продолжением развития системы «внешняя труба», ранее использованной в таких



Заместитель генерального директора ООО МФК «Ахмат Тауэр» Магомед Ахмедович Дашкуев

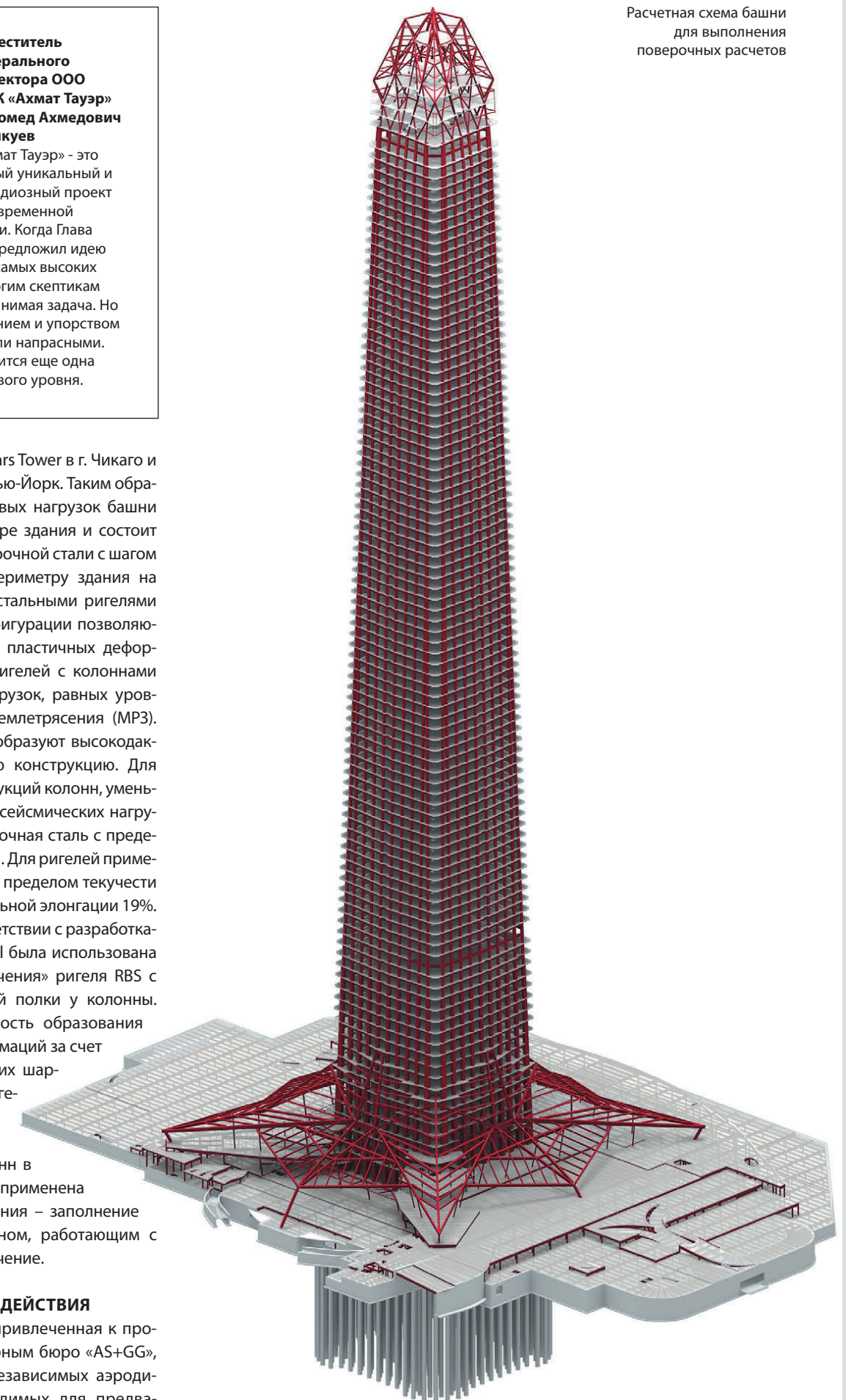
«Ахмат Тауэр» - это самый уникальный и грандиозный проект в современной истории Чеченской Республики. Когда Глава Республики Рамзан Кадыров предложил идею построить в Грозном одно из самых высоких зданий в России и Европе, многим скептикам казалось, что это трудно выполнимая задача. Но мы своим трудом, своим желанием и упорством доказываем, что сомнения были напрасными. И очень скоро в Грозном появится еще одна достопримечательность мирового уровня.

известных небоскребах, как Sears Tower в г. Чикаго и Мировой торговый центр в г. Нью-Йорк. Таким образом, система восприятия боковых нагрузок башни сконцентрирована на периметре здания и состоит из несущих колонн из высокопрочной стали с шагом 4,5 метра, соединенных по периметру здания на каждом этаже специальными стальными ригелями высотой 1 метр, по своей конфигурации позволяющих образование нелинейных пластичных деформаций в местах соединения ригелей с колоннами при возникновении в них нагрузок, равных уровню максимально-расчетного землетрясения (МРЗ). Совместно колонны и ригели образуют высокодактильную (эластичную) рамную конструкцию. Для оптимизации габаритов конструкций колонн, уменьшения веса и, соответственно, сейсмических нагрузок применена супервысокопрочная сталь с пределом текучести 690 МПа (S690QL). Для ригелей применена высокоэластичная сталь с пределом текучести 390 МПа и коэффициентом удельной элонгации 19%. В конструкции ригелей в соответствии с разработками AISC's Seismic Design Manual была использована «технология уменьшенного сечения» ригеля RBS с плавной нарастающей шириной полки у колонны. Этот механизм дает возможность образования нелинейных пластичных деформаций за счет поворота сечения (пластических шарниров) в местах соединения ригелей с колоннами. Для уменьшения металлоемкости и расхода высокопрочного металла колонн в конструкциях до 40-го этажа применена технология композитного сечения – заполнение колонн высокопрочным бетоном, работающим с металлом колонны как одно сечение.

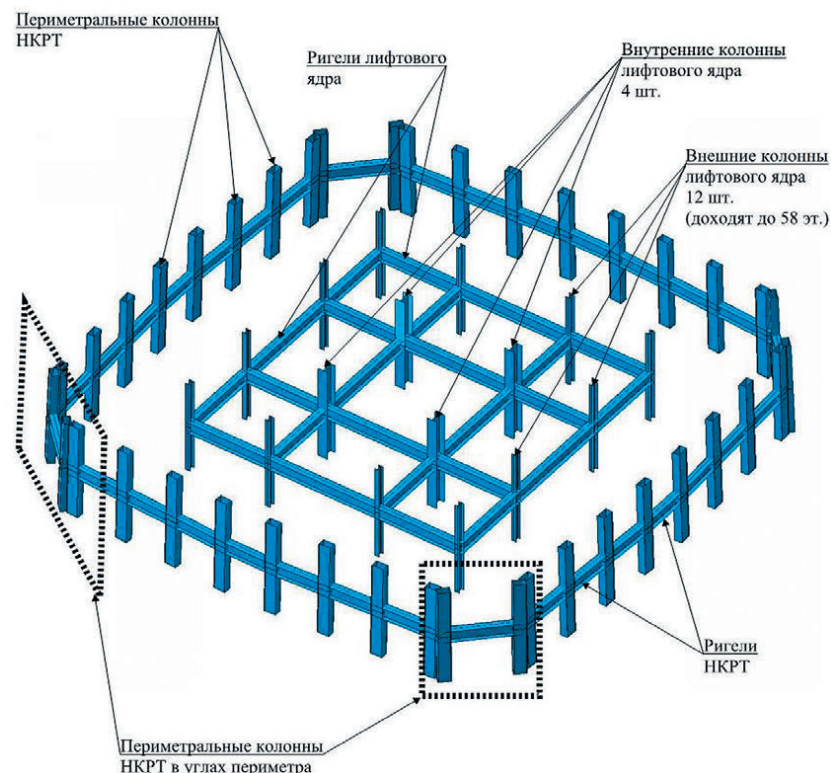
РАСЧЕТЫ НА ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Канадская компания «RWDI», привлеченная к проекту по договору с архитектурным бюро «AS+GG», выполнила испытания трех независимых аэродинамических моделей, необходимых для предва-

Расчетная схема башни для выполнения поверочных расчетов



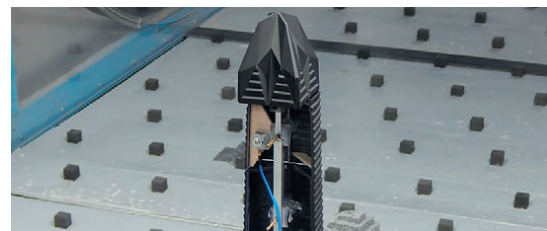
Ключ-схема к обозначению основных несущих элементов



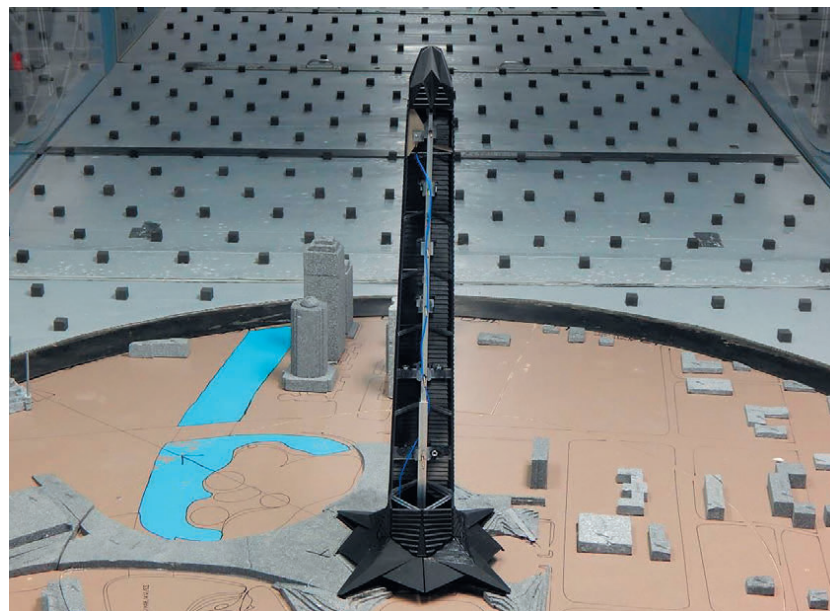
рительного и детального анализа ветровых нагрузок и реакции высотного здания (High Frequency Force Balance, High Frequency Pressure Integration, and Aeroelastic Model), а также провела детальное исследование местной климатологии на основе данных из аэропортов и государственных климатологических станций. Одной из главных задач компании «RWDI» стала необходимость контроля ускорений колебаний башни. По итогам аэродинамических испытаний выяснилось, что акселерация колебаний здания выше регламентируемого российским СП. Как результат впервые в истории высотного строительства на территории РФ для контроля ускорений была внедрена демпфирующая система (SDS), расположенная на 96-м этаже башни. Результаты этой работы были обработаны институтом ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и выданы в «Thornton Tomasetti» как рекомендации для окончательного расчета конструкций здания в российских программных комплексах.

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

К особенностям строительной площадки МФК «Ахмат Тауэр», осложняющим проектирование фундаментных конструкций, относятся экстремальные нагрузки на основание, большая глубина водонасыщенных песков и высокая сейсмичность района работ. Данные обстоятельства необходимо было учитывать при выборе состава и методов обследований грунтов, поэтому компанией «СМАРТ



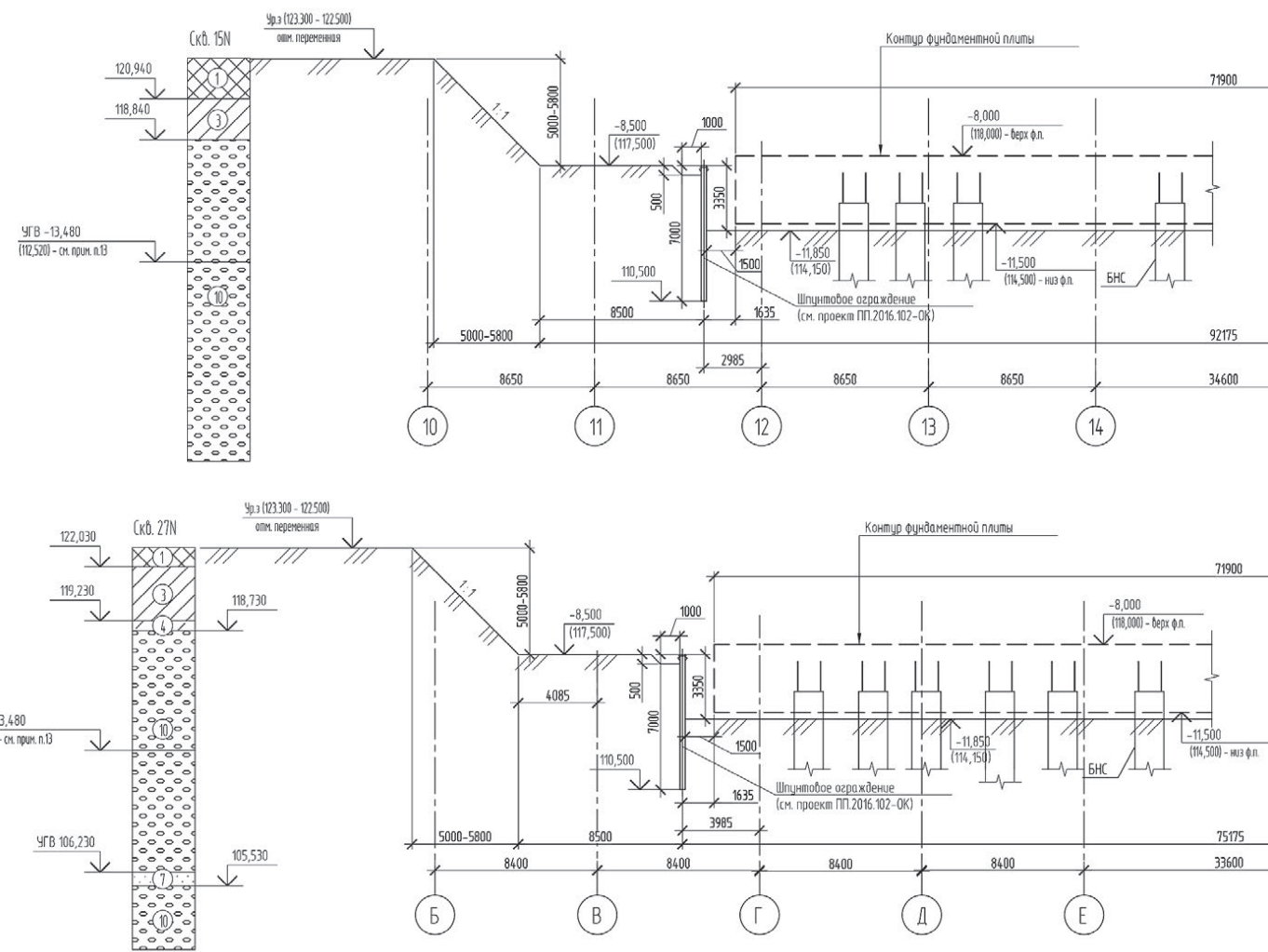
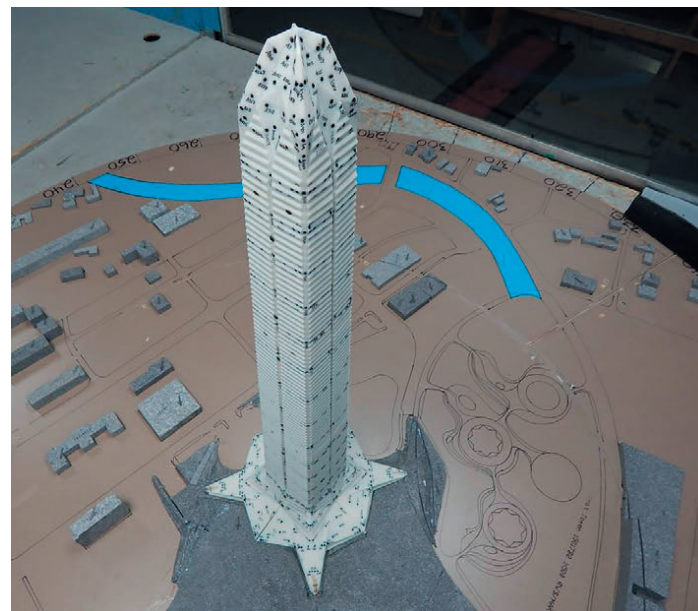
Модель сооружения «Ахмат Тауэр» в аэродинамической трубе компании «RWDI»



РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА НА ПЛИТНОМ РОСТВЕРКЕ
Тип свай: буронабивные
Количество: 216 свай
Длина: 64 м
Диаметр: 1,5 м
Ожидаемая максимальная нагрузка на сваю: 1788 т
При действии вертикальной статической нагрузки: 1980 т
При действии вертикальной и ветровой нагрузок: 2064,5 т
Максимальная горизонтальная нагрузка, с учетом сейсмических воздействий по максимальному расчетному землетрясению (МРЗ): 321 т
Максимальная осадка фундамента прогнозируется: 73 мм
Средняя величина осадки: 55 мм
Максимальная относительная неравномерность осадок: 0,002, **крен** - 0,00015

БИЛДИНГ» для проведения комплекса работ по инженерно-геологическим изысканиям были привлечены сразу несколько ведущих мировых и российских компаний и научно-исследовательских институтов.

Инженерно-геологические изыскания проводились в два этапа. Предварительно было пробурено 4 скважины глубиной 100 м и одна 150 м для гарантированного прохождения всей активной зоны. По результатам исследований произведена оценка условий территории и совместно с компанией «Langan International» была сформирована сетка бурения скважин с обоснованием их глубины. В итоге получена дополнительная необходимая информация о свойствах грунтового массива и сейсмических характеристиках площадки. В дальнейшем материалы изысканий были использованы компанией «Thornton Tomasetti» для расчета свайно-плитного фундамента.



ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Комплекс полевых работ для изучения свойств грунтов в естественном залегании в рамках исследований включал ряд испытаний: в шурфах плоским штампом площадью 5000 см², в скважинах плоским штампом площадью 600 см², pressiометрические испытания, статическое и динамическое зондирование, опытно-фильтрационные работы, а также определение плотности грунтов методом замещения объема.

Наибольшие сложности при проведении этих работ были связаны с большой глубиной исследований, которая на рассматриваемом объекте составила более 100 м, что потребовало применения нестандартных решений.

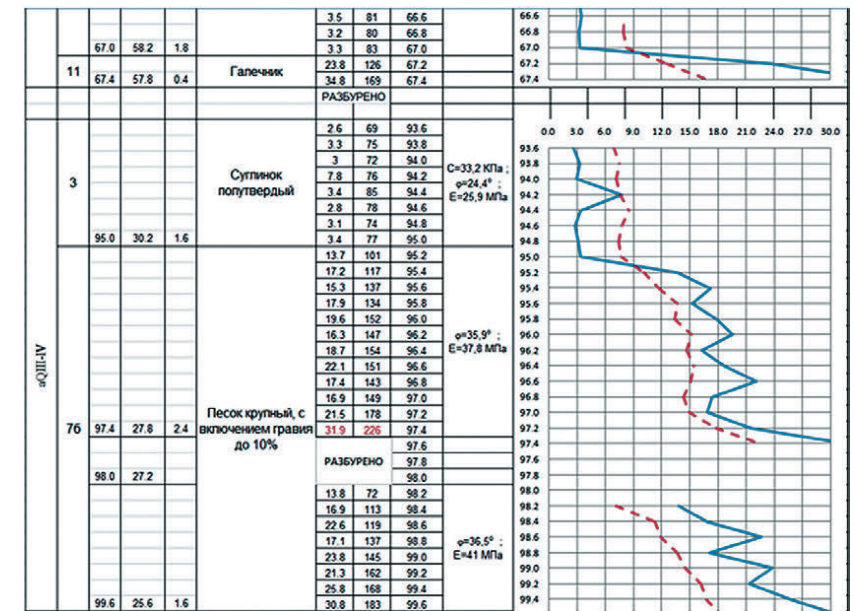
Определение деформационных свойств грунтов на больших глубинах производилось pressiометрическим методом. В результате комбинированного использования pressiометров ПК-3М конструкции «Гидропроект» и IF096-3 германо-голландской фирмы Boart Longyear Interfels GmbH удалось исследовать толщу грунтов на всю необходимую глубину.

При статическом зондировании полностью себя оправдала и позволила довести глубину до 100 метров технология поинтервального зондирования, которая была предложена представителями

НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, по причине большой глубины исследуемой толщи и наличия в разрезе непроходимых для статического зондирования слоев гравийно-галечниковых грунтов. Результаты этого исследования позволили определить плотность песчаных водонасыщенных грунтов, а динамическое зондирование показало, что опасность

Фрагменты котлована высотной части

Фрагмент графика поинтервального зондирования на объекте



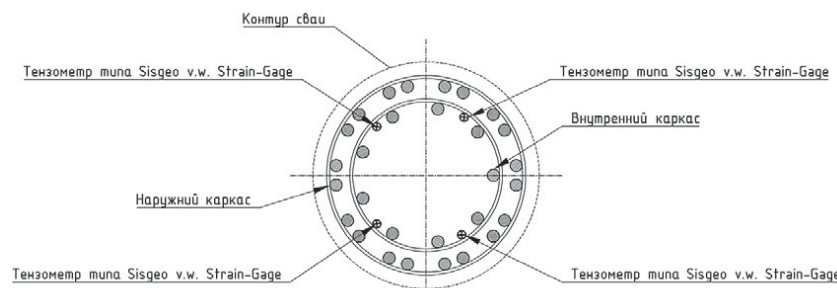


Схема оснащения каркаса опытной сваи датчиками

разжижения при возможном сейсмическом воздействии отсутствует.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ

Программой изысканий был предусмотрен полный комплекс определений физико-механических стандартных и нестандартных характеристик грунтов, необходимых для расчета оснований при использовании современных программных продуктов. По результатам динамического воздействия на грунты основания методом трехосных циклических испытаний мягкопластичные и текучепластичные, тяжелые глины были отнесены к категории динамически неустойчивых. Однако данные грунты в силу незначительной мощности этих слоев и большой глубины залегания (30 и более метров) не оказали существенного влияния на оценку общей динамической устойчивости основания. Таким образом, было подтверждено, что исследуемый массив обладает достаточным запасом динамической устойчивости при данной степени обводнения и может быть использован в качестве грунтового основания проектируемого объекта.

В связи с отсутствием соответствующих отечественных норм при определении параметров переуплотнения грунтов в качестве исходного нормативного документа был принят американский стандарт ASTM, в соответствии с которым требовалось создавать давление до 10 МПа. Такой уровень реализован в установке КРА-1 в режиме релаксации напряжений. Кроме достижения необходимого давления, использование режима релаксации напряжений позволило сократить продолжительность испытаний более чем в 10 раз.

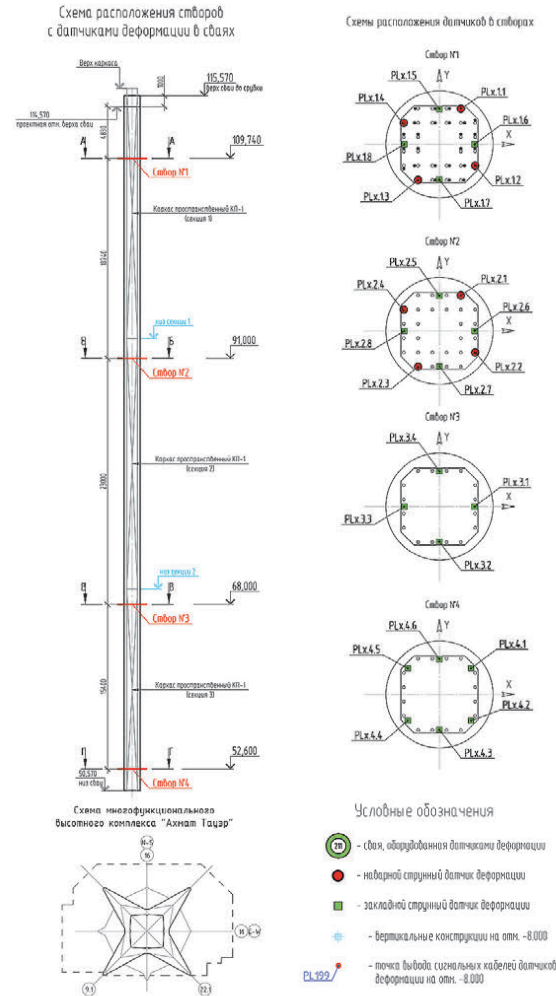


Схема расположения свай, оборудованных датчиками деформации

Для повышения надежности определения параметров переуплотнения обработка результатов испытаний производилась двумя наиболее известными способами – по методу Казагранде и методу Беккера, что исключало возможные погрешности, связанные с неточностью построений. Результаты контрольных испытаний, выполненных по стандартной методике в приборах трехосного сжатия GIES UP 25A, подтвердили достоверность полученных результатов.

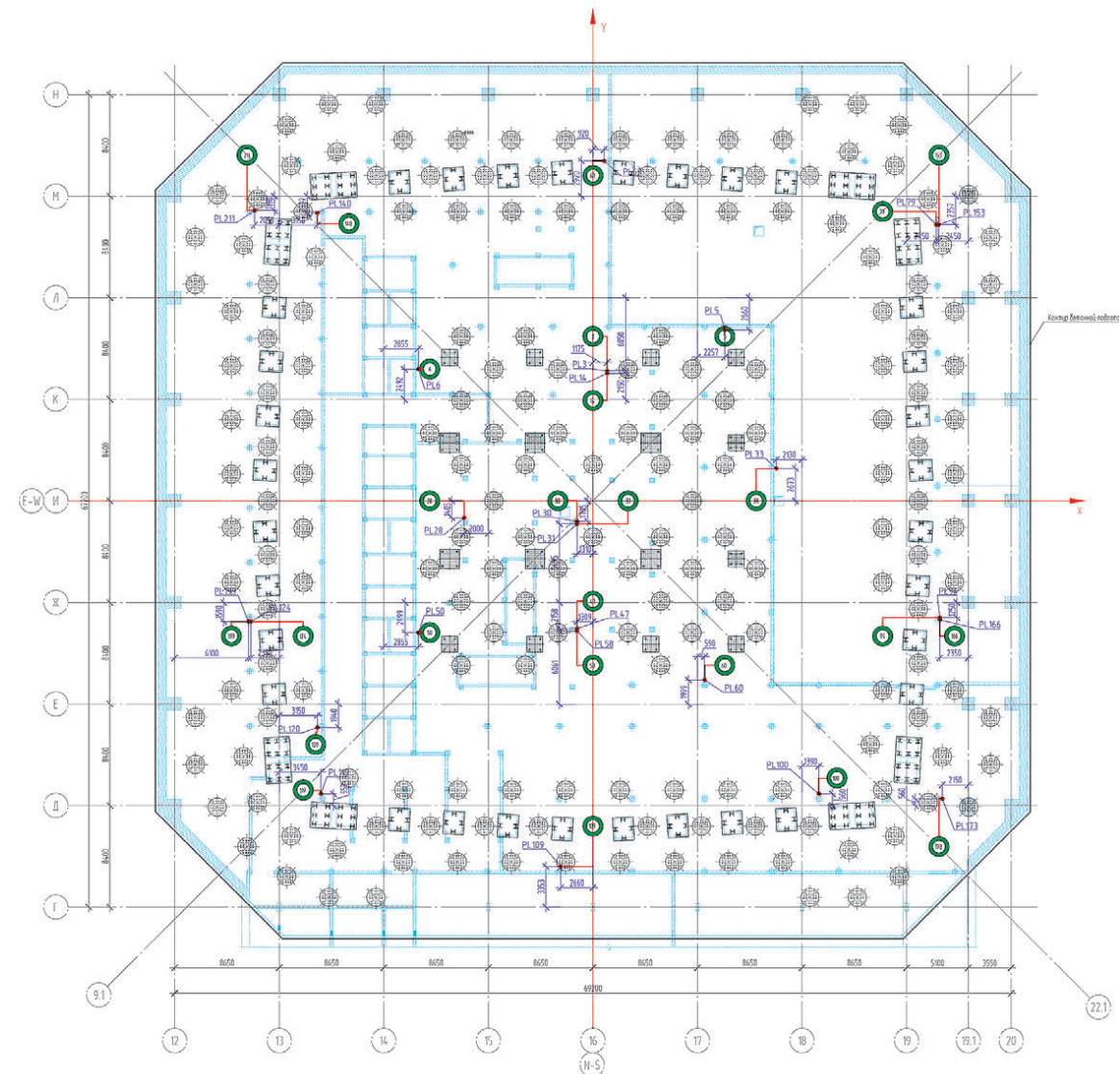


Схема расположения свай, оборудованных датчиками деформации

Расчетные параметры сейсмичности площадки строительства башни с учетом грунтовых условий площадки

I ₀ – уточненная ИФЗ РАН исходная (фоновая) сейсмичность в баллах шкалы MSK-64							
T=500 лет		T=1000 лет		T=2500 лет			
8,0		8,5		8,5			
Результаты оценки сейсмичности с учетом сейсмических свойств грунтов площадки							
Метод аналогии с таб.1 СНиП II-7-81* (СП 14.13330.2014)		Метод сейсмической жесткости (МСЖ)		Расчетные значения уровня сейсмической сотрясаемости			
Категория	I=I ₀ +ΔI _к	ΔI	I=I ₀ +ΔI _с	I балл*	PGA,g	S ₃ (T=0,2 c)	S ₁ (T=1,0 c)
II (ΔI _к =0)	T ₅₀₀ =8,0	-0,38	T ₅₀₀ =7,6	T ₅₀₀ =7,6	T ₅₀₀ =0,24	T ₅₀₀ =0,59	T ₅₀₀ =0,23
	T ₁₀₀₀ =8,5		T ₁₀₀₀ =8,1	T ₁₀₀₀ =8,1	T ₁₀₀₀ =0,29	T ₁₀₀₀ =0,72	T ₁₀₀₀ =0,28
	T ₂₅₀₀ =8,5		T ₂₅₀₀ =8,1	T ₂₅₀₀ =8,4	T ₂₅₀₀ =0,35	T ₂₅₀₀ =0,87	T ₂₅₀₀ =0,34

Примечания: I балл* -пересчет параметров PGA в баллы MSK-64 осуществлялся по зависимости ОИФЗ РАН (Уломов В.И., Шумилина Л.С.) принятой при создании карты Северной Евразии.

Совместными усилиями компаний «Thornton Tomasetti», «Langan International» и при научно-техническом сопровождении НИИОСП им Н.М. Герсеванова были получены наиболее точные результаты испытаний, что позволило «СМАРТ БИЛДИНГ» оптимизировать конструкцию фундамента.

СЕЙСМИЧНОСТЬ ПЛОЩАДКИ СТРОИТЕЛЬСТВА

По нормативным картам общего сейсмического районирования г. Грозный расположен в одной из самых сейсмоопасных зон нашей страны, которая оценивается в 9–10 баллов. Строительство такого сложного и ответственного объекта требует тщательных аналитических исследований этого участка. Для получения полной картины сейсмодислокации региона необходимо обратиться к историческим фактам. Как известно, в 1976 г. к юго-западу от Грозного произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой 6,3 балла, получившее название Черногорского или Чечено-Ингушского. В прилегающей к городу зоне интенсивность сотрясений составила 6–7, а местами доходила до 8 баллов. Несмотря на большую магнитуду, были зарегистрированы незначительные повреждения жилых и



Типовая схема арматурного каркаса и силовой ячейки

Арматурный каркас испытываемой сваи

КОМПАНИИ-ПАРТНЕРЫ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
 Thornton Tomasetti
 Langan International
 АО «НИЦ «Строительство»
 НИИОСП им. Н.М. Герсеванова
 ИФЗ РАН им. О.Ю.Шмидта
 Подземпроект

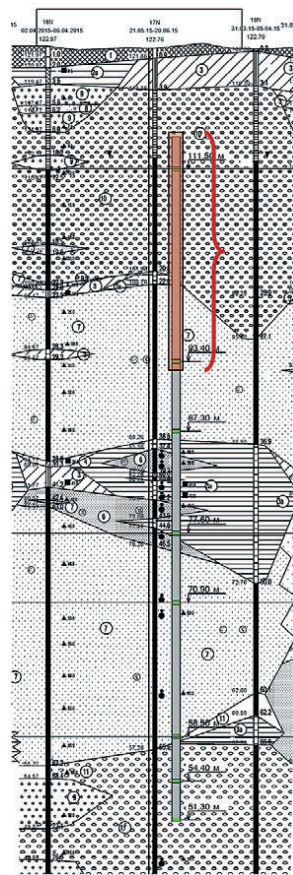


Схема размещения датчиков в свае. Красным обозначена зона, в которой боковое трение сваи отсутствует (H=22 м)

промышленных зданий. С учетом анализа события была подтверждена высокая оценка ожидаемой балльности региона при формировании нормативных карт, составившая 9 баллов по шкале Рихтера.

Для уточнения сейсмической опасности территории строительной площадки компания «СМАРТ БИЛДИНГ» поручила сотрудникам компании «Росстройизыскания» провести микросейсморайонирование строительной площадки, по результатам которого были получены уточненные данные по сейсмичности площадки, которые впоследствии были использованы при проектировании здания МФК «Ахмат Тауэр».

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

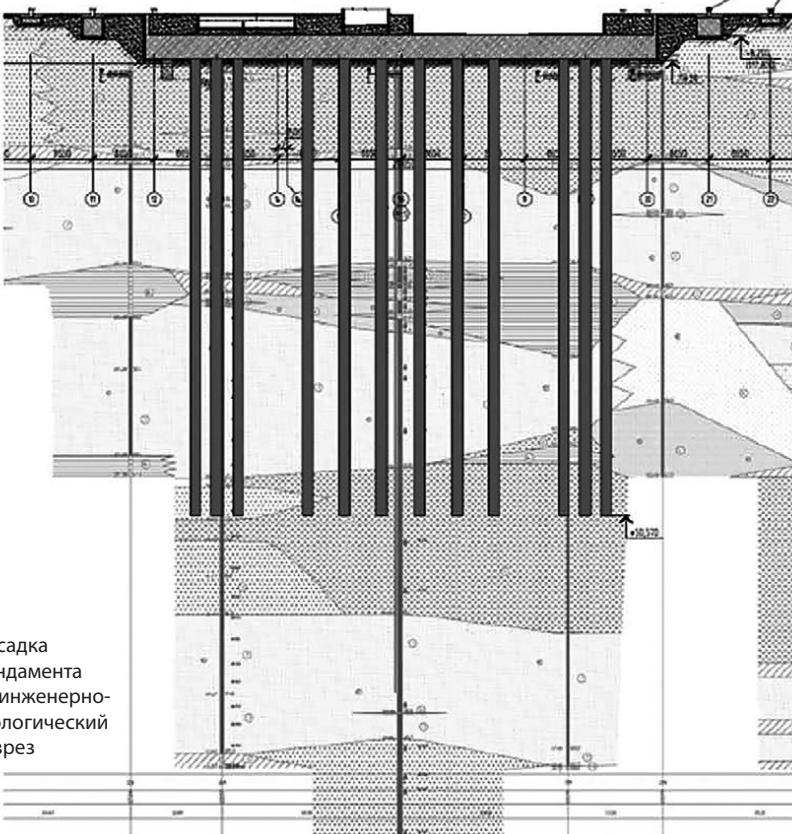
В рамках научно-технического сопровождения инженерных изысканий МФК «Ахмат Тауэр» специалистами НИИОСП им. Н.М. Герсеванова были выполнены поверочные расчеты проектных решений фундаментов, проведены уникальные испытания грунтов сваями, разработаны и реализованы мероприятия по геотехническому мониторингу в части сопровождения работ по устройству буронабивных свай и разработаны специальные технические условия для строительства фундаментов (СТУ). В них особое внимание уделяется проведению расчетов оснований и фундаментов, которые должны выполняться с учетом действия системы «основание – фундамент – сооружение», а также поэтапному строительству здания.

Проектирование свайно-плитного фундамента было выполнено компанией «Thornton Tomasetti»

с последующей проверкой расчетов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. В результате был разработан проект устройства основания в виде 216 стратегически расположенных свай Ø1,5 м и длиной 64 м. Для обеспечения совместной работы системы «основание – здание – сооружение», а также этапов строительства, была создана расчетная модель комплекса, включающая сейсмические и ветровые воздействия. Результаты показали, что несущая способность свайного основания обеспечена.

На этапе проектирования свайного основания были проведены наиболее важные и ответственные испытания статической нагрузкой методом «погружного домкрата» или по методу Остерберга (Ostenberg-Cell), который базируется на установке домкратов в двух уровнях, делящих сваю на три части. Кроме того, специалисты из «Langan International», основываясь на своем опыте проектирования фундаментов глубокого заложения, разработали методику загрузки и разгрузки испытываемых свай. Испытания проводились на двух сваях длиной 70,17 м и 60,73 м. Мощность нижней силовой ячейки – 10 МН, а верхней – 20 МН. Для измерения усилий в теле каждой сваи были установлены по 32 тензометрических датчика, расположенных на 8 уровнях. Таким образом, смещение нижней ячейки, расположенной на расстоянии 7 м от пяты, при воздействии нагрузки 1000 т составило менее 5 мм, а при испытании верхней ячейки и приложенной нагрузке 2000 т перемещения составили 5 мм. Данные испытания показали, что действительная несущая способность свай значительно превышает расчетную. Кроме того, в рамках этой работы проводились испытания на горизонтальную нагрузку, в ходе которых подтверждалось, что несущая способность сваи на горизонтальную нагрузку является обеспеченной. Дополнительные испытания классическим методом «сверху-вниз» были выполнены на стадии рабочего проектирования и устройства рабочих свай проектной длины, но Ø0,8 м, с интерполяцией результатов. Для измерения усилий в сваях использовалась стандартная схема испытаний статической нагрузкой, но несущая нагрузка составляла 3000 т. Максимальные перемещения при этом составили 37,7 мм. При дальнейшем приложении нагрузки произошла потеря общей устойчивости сваи с ее разрушением по материалу. Таким образом, расчетная нагрузка, допускаемая на сваю, составляет 2475 т, что на 20% больше проектной. В процессе устройства свайного поля проводились работы по контролю бурения и качеству полимерного раствора, бетонированию и ультразвуковому контролю свай.

Для обеспечения надежности и безопасности сооружения в процессе строительства и в период эксплуатации генеральным проектировщиком совместно с корпорацией «Thornton Tomasetti» и институтом НИОСП им. Н.М. Герсеванова предусмотрена система геотехнического мониторинга с оборудованием 28 свай тензометрическими датчиками, расположенными по четыре в каждом уровне



Посадка фундамента на инженерно-геологический разрез



(общее количество – 896 шт.), кроме того, 32 датчика расположены в бетоне фундаментной плиты, 48 – в арматуре и 10 датчиков давления установлены под подошвой фундамента.

РАЗРАБОТКА СТАДИИ «ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ»

Как известно, российские СНиПы существенно отличаются инженерно-технической частью от тех, что используются в США и странах Европы, поэтому перед девелопером «СМАРТ БИЛДИНГ» встал вопрос адаптации архитектурной и инженерной частей проекта, разработанного «AS+GG», к российским нормативным документам. Этот вопрос имеет важное значение, поскольку требования СНиПов и СТУ следует учитывать, начиная с первоначального этапа проектирования. Решить эту задачу было поручено генеральному проектировщику МФК «Ахмат Тауэр» – компании ЗАО «ГОРПРОЕКТ». Адаптация конструктивных решений не требовалась, т.к. корпорация «Thornton Tomasetti» проектировала конструктивную часть с учетом норм РФ.

Разработке проектной документации предшествовал значительный объем работ по сопровождению, связанный с проверкой технической документации на следующих этапах: Концепция, Эскизный проект и Детальный проект, выполненной американским архитектурным бюро «Adrian Smith+Gordon Gill Architecture». Кроме архитектурного раздела ЗАО «ГОРПРОЕКТ» выступило консультантом для разработчиков инженерного раздела

проекта по вопросам применения отечественных СНиПов, разъяснению требований и правил согласующих инстанций, а также рассмотрению промежуточных стадий проекта.

Таким образом, для выполнения описанных выше работ привлекались ведущие российские и международные специалисты в области высотного строительства, более 20 компаний и свыше 500 архитекторов, конструкторов и инженеров различных специальностей. Разработчикам конструктивной части проекта потребовалось представить экспертам беспрецедентное по составу и объемам расчетное обоснование, чтобы убедить в надежности и безопасности одного из самых сложных и интересных зданий в мире.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой статье освещены вопросы, с которыми столкнулись девелопер и проектировщики при решении основных проектных задач и выполнении различных инженерных изысканий. Все они были учтены при выборе оптимальной конструктивной схемы МФК «Ахмат Тауэр», отвечающей требованиям безстенного, безколонного пространства современных многофункциональных комплексов с оптимальными размерами лифтового/лестничного ядра и максимальным коэффициентом полезной площади, обеспечивающей при этом адекватное динамическое поведение при действии сейсмических и ветровых нагрузок и отвечающей требованиям комфорта и безопасности жизни людей. ■

Устройство свайного поля