

# Геотехнические расчеты при проектировании комплекса многоэтажных зданий

Современное проектирование строительных объектов нередко осуществляется в условиях плотной городской застройки, включающей здания и сооружения, находящиеся в непосредственной близости друг от друга и обладающие разнообразными типами конструктивных решений. Учитывая эти факторы, а также тенденцию к росту этажности проектируемых зданий и, как следствие, увеличение дополнительной нагрузки на грунт, сложность решения задач по геотехническому обоснованию проектов многократно возрастает. Эти задачи включают необходимость учитывать взаимное влияние как проектируемых, так и существующих зданий друг на друга через единый грунтовый массив, а также последовательность возведения зданий и их элементов.

В данном материале описаны сравнительные расчеты деформаций (осадок и их неравномерностей) проектируемого для строительства в Санкт-Петербурге объекта в различных постановках задачи, выполненные с помощью программного комплекса для моделирования, анализа методом конечных элементов и оптимизации конструкций SOFiSTiK (разработчик – компания SOFiSTiK) и модуля для создания геотехнических моделей WinTUBE (разработчик – компания FIDES DV-Partner).

Объект представляет собой комплекс из пяти сооружений, разделенный на два корпуса. Первый корпус – 24-этажный монолитно-кирпичный жилой дом (свайный фундамент) с пристроенным одноэтажным заглубленным паркингом (плитный фундамент). Второй корпус – 20-этажный монолитно-кирпичный жилой дом (свайный фундамент) с пристроенным одноэтажным заглубленным паркингом из двух деформационных блоков (плитные фундаменты). Корпуса находятся в непосредственной близости (12-19 метров) и оказывают друг на друга неизбежное влияние, что обуславливает необходимость геотехнического обоснования проекта.

Была выполнена сравнительная оценка результатов геотехнических расчетов в четырех различных по детализации постановках задачи, отражающих типичные подходы к решению вопроса о геотехническом обосновании объекта:

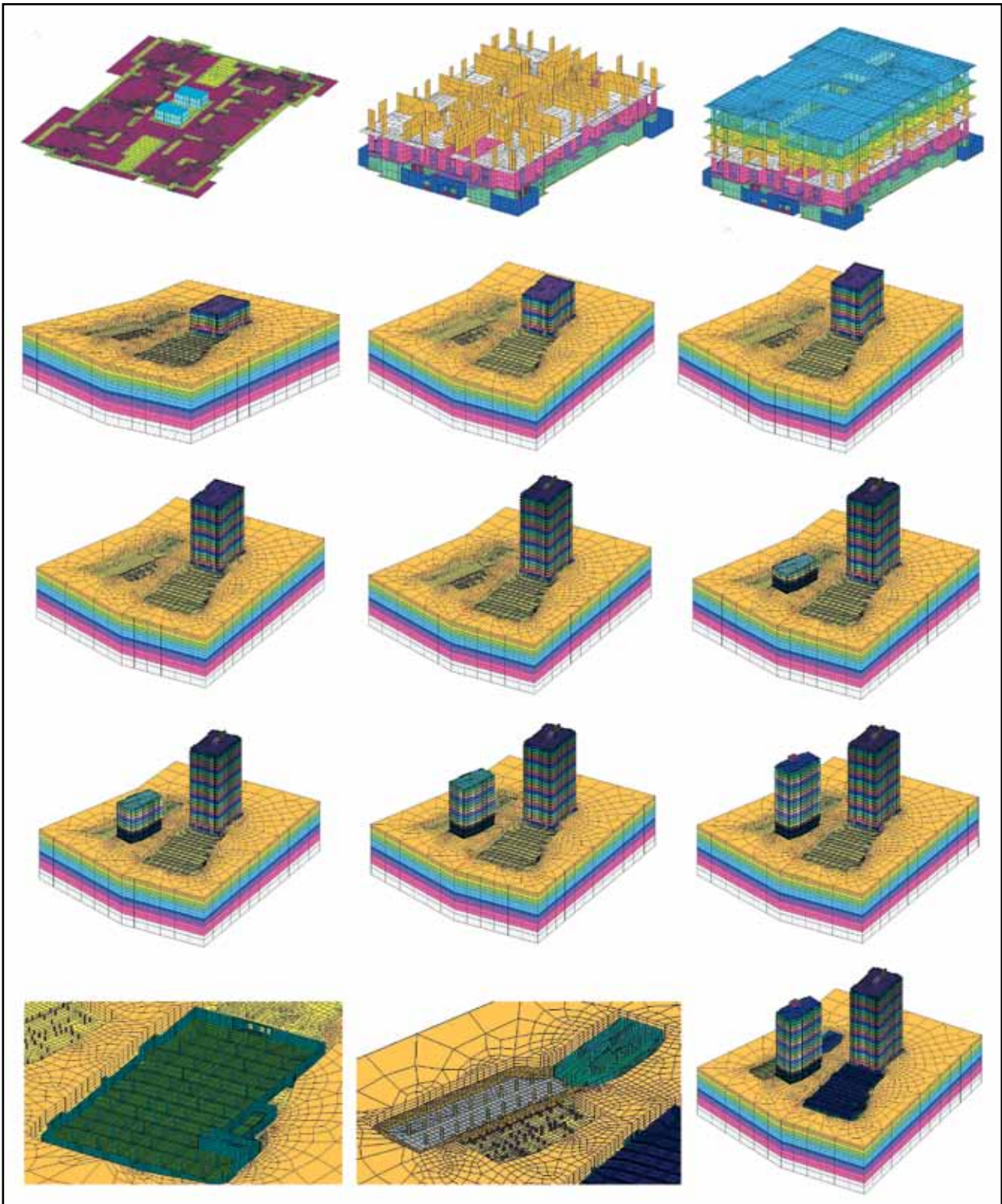
1. **Геотехнический расчет комплекса зданий и паркингов как единой пространственной модели “здание-грунт-основание” в физически нелинейной постановке с учетом как поэтажной последовательности возведения каждого сооружения, так и последовательности возведения очередей всего комплекса.**
2. **Геотехнический расчет комплекса зданий и паркингов как единой пространственной модели “здание-грунт-основание” в физически нелинейной постановке с учетом последовательности возведения очередей строительства.**
3. **Расчет комплекса зданий и паркингов как единой пространственной модели “здание-грунт-основание” в физически нелинейной постановке без учета последовательности возведения.**
4. **Расчеты сооружений из состава комплекса как обособленных моделей на грунтовом массиве (без учета взаимного влияния) в физически нелинейной постановке.**

В грунтовом массиве сформировано предварительное напряженно-деформированное состояние и выполнен пошаговый расчет по последовательно-параллельному возведению этажей многоэтажных зданий и элементов конструкций паркингов с учетом долей развития осадок. В результате были получены нарастающие долевые значения осадок многоэтажных зданий на каждом этапе их возведения и соответствующие им нарастающие деформации паркингов. Реализация конструирования по таким результатам представляется более правильной по сравнению с результатами, полученными по моделям задач 2, 3, 4.

В грунтовом массиве сформировано предварительное напряженно-деформированное состояние и выполнен пошаговый расчет по очередям (первый шаг – возведение 20-24-этажных зданий, второй шаг – сооружение паркингов). Результатом расчетов стали полные значения осадок многоэтажных зданий на первом шаге и соответственно близкие к нулевым осадки паркингов на втором шаге. Реализация конструирования по таким результатам была бы неверна, так как несмотря на общую модель взаимное влияние сооружений практически не определено.

В грунтовом массиве сформировано предварительное напряженно-деформированное состояние и выполнен расчет “единовременно” расположенных зданий и паркингов. Результатом стали максимальные из всех четырех моделей значения усилий и деформаций, реализация конструирования по которым неверна теоретически, не может быть экономически обоснована и проблематична технически.

В грунтовом массиве сформировано предва-



рительное напряженно-деформированное состояние и выполнен независимый расчет для паркингов. Результат – минимальные из всех четырех моделей значения усилий и деформаций, реализация конструирования по которым была бы неверной.

Сравнение результатов расчетов показывает существенное различие общего уровня и характера распределения усилий и деформаций (осадок и их неравномерностей) для объектов в составе комплекса в зависимости от постановки задачи и от степени детализации фактора последовательности возведения.

Постановка задач 2, 3, 4 отражает реализуемые на практике многими проектировщиками попытки геотехнического обоснования объектов путем расчета одной системы большой размерности с помощью имеющихся у них в наличии программных средств, чьи возможности позволяют решать лишь локальные задачи конструирования, но не предназначены для решения геотехнических задач.

Другой крайностью является использование так называемой “двухступенчатой” технологии расчета сооружения: сначала расчет сооружения в некой

конструкторской программе на условно-упрощенных абстрактных опорах и получение усилий в них; затем усилия в фиктивных опорах переносятся на “пятно” фундамента здания в геотехническую программу и выполняется расчет средней осадки. Принципиальным заблуждением является сам подход к определению усилий в условных опорах без учета деформаций несущей системы здания на грунтовом массиве, что дает неверное распределение этих самых усилий и сводит ценность подобного расчета к нулю.

Следует учитывать, что практически любой автоматизированный расчет осуществляется численно (приближенно) и построен на реализации метода перемещений. Это значит, что рассчитываемые усилия в конструкциях (и подбираемое по ним армирование) определяются деформациями системы. Соответственно неверно поставленная задача (например, отказ от моделирования грунтового массива и применение условных податливых опор, отказ от проведения расчетов с нелинейными моделями поведения материалов и грунтов, отказ от учета влияния зданий друг на друга и иногда пренебрежение учетом последовательности возведения) дает неверные результаты по деформациям, усилиям и армированию.

Исключительно важен вопрос адекватного моделирования массива грунтового основания, то есть реалистичного моделирования геометрии сложения слоев грунта и правильного задания физико-механических характеристик грунтов. Геотехнический модуль WinTUBE является мощным препроцессором для моделирования трехмерных грунтовых массивов сложной геометрической структуры с возможностью учета в математическом аппарате расчетной модели широкого спектра характеристик грунтов для линейных и нелинейных расчетов.

Другим важным вопросом является степень детализации этапов последовательного возведения объектов комплекса в части оценки их взаимовлияния. Важно не только абстрактно понимать, что у зданий и сооружений осадки и их неравномерности не возникают одновременно, а процесс их развития существенно растянут во времени, но и максимально учесть это обстоятельство в постановке задачи в исследуемой геотехнической модели. Поэтому “крайние” постановки задачи (как расчет комплекса “единовременно возникших” на грунтовом массиве зданий и сооружений, так и расчет “обособленных моделей” зданий и сооружений) дадут разные по значению, но одинаково неверные по сути результаты. Поэтому заведомо принципиально неверными будут любые попытки расчетов взаимовлияния поочередно (не одновременно) возводимых объектов в линейной постановке задачи. Правильным подходом будет являться учет некоторой доли развития осадок одних объектов до момента начала возведения других. Именно адекватность оценки указанных долей осадок и представляет собой наибольшую научную сложность и наибольший практический интерес. Оценка нарастающей во времени величины осадки может производиться либо на стадии проектирования на основании различных реологических моделей (и здесь важно соответствие математического аппарата реологической модели грунтам конкретного участка строительства), либо на стадии строительства объекта, когда доля осадки конкретного сооружения опре-

деляется непосредственными измерениями в рамках геотехнического мониторинга и сопровождения.

Степень влияния детализации в модели процесса поэтажной последовательности возведения элементов каждого здания на напряженно-деформированное состояние несущей конструкции напрямую зависит от степени жесткости конструктивной схемы самого здания. Так, для многоэтажного здания с жесткой конструктивной схемой (перекрестно-стенная монолитная система) характерно малое развитие внутренних деформаций во времени в целом, а тем более за период строительства, поэтому поэтажная детализация последовательного возведения стен и плит перекрытий типовых этажей представляется малообоснованной. Для сооружений с нежесткой конструктивной схемой (система несущих колонн, связей, диафрагм), напротив, характерно существенное изменение характера напряжений и значимое развитие деформаций даже за время строительства, поэтому подробная поэтажная детализация последовательного возведения элементов имеет, наряду с вопросом влияния окружающей застройки, решающее значение для моделирования адекватного уровня напряжений в конструкции.

Опыт реализации данного проекта показал, что при проведении геотехнических расчетов сложных объектов необходимо всестороннее исследование различных моделей поведения грунта и решение задач в различной их постановке (не ограничиваясь единственной расчетной схемой) с последующим сравнением результатов расчетов между собой. Здесь важен обмен опытом решения специалистами в данной области различных геотехнических задач, в частности, выработка подхода относительно того, к каким типам грунтов применение каких физических моделей более оправданно. Необходимо ввести практику проведения геотехнического мониторинга сложных объектов для оценки соответствия расчетных и практических значений осадок и их неравномерностей.

В заключение хочется отметить, что основное преимущество ПК SOFiStiK, с помощью которого были выполнены описанные расчеты, – способность решать единую конструкторско-геотехническую задачу: анализировать осадки сооружений и их неравномерности, прогибы и крены, взаимное влияние объектов друг на друга с учетом последовательности возведения и параллельной оценкой напряженно-деформированного состояния и требуемого армирования с применением физически-нелинейных моделей поведения грунтов, бетонных и стальных конструкций. Широкий спектр возможностей моделирования конструкций и нагрузок, современный графический интерфейс, адаптированный под строительные задачи, возможность параметризации расчетов, большое количество специализированных модулей, внешние интерфейсы (Revit, Femap, IFC, FIDES и др.) позволяют оценивать SOFiStiK как пример удачного сочетания достоинств известных hi-end пакетов-лидеров среди программ МКЭ с адаптацией для строительных задач и полной локализацией для применения на территории России и стран СНГ. Программный комплекс имеет сертификат соответствия нормам проектирования РФ.

**Ю. Э. Минкин, к.т.н., главный специалист-конструктор, консультант по ПК SOFiStiK, компания “Петростройсистема”**