

Опыт применения ПК SOFiSTiK для геотехнического обоснования проекта комплекса многоэтажных зданий

Особенностями современных условий проектирования зданий и сооружений являются, как известно, такие факторы, как крайне сжатые сроки проектирования при большой масштабности проектов, сложность и частая изменчивость геометрических форм и конструктивных решений, высокие и разнообразные нагрузки и воздействия, ограниченные размеры площадки строительства и близость окружающей застройки, требования заказчика высокой экономической эффективности проектных решений и быстрой оценки разнообразных вариантов. Такие условия диктуют необходимость создания единой информационной модели здания/сооружения, позволяющей динамично вносить изменения в различные разделы проекта. Эти возможности предоставляет современная технология информационного моделирования зданий – BIM. В материале описано применение реализующего основные принципы данной технологии программного комплекса SOFiSTiK для геотехнического обоснования проектов.

ПК SOFiSTiK предоставляет инженерам-проектировщикам широкий набор быстрых и эффективных средств для решения задач различной степени сложности по расчету и конструированию строительных конструкций. ПК состоит из гибкого набора модулей с открытым интерфейсом, представляющих собой отдельные программы: препроцессоры (используются для подготовки исходных данных), процессоры (непосредственно выполняют расчет), постпроцессоры (отображают результаты расчета и организуют вывод их на печать), модули для конструктивных расчетов (выполняют проверку прочности сечений, подбор армирования и т.п.).

Достоинством программного комплекса является развитый интерфейс для получения данных о геометрии и иных характеристиках модели из многих популярных сегодня графических пакетов. Каждый модуль в составе ПК SOFiSTiK комплектуется исчерпывающей справочной документацией и файлами примеров, что позволяет найти подход к решению практически любой инженерно-конструкторской задачи. ПК SOFiSTiK лока-

лизован и имеет сертификат соответствия нормам проектирования СНиП Российской Федерации.

При решении задач геотехнического обоснования проектов зданий различной этажности и конструктивной схемы уникальным преимуществом ПК SOFiSTiK является способность решать единую конструкторско-геотехническую задачу, в рамках которой имеется возможность:

- ▶ формировать в составе одной объемной модели конструктивные решения зданий любой сложности и задавать инженерно-геологические условия любой сложности, применяя широкий спектр линейных и физически-нелинейных моделей поведения материалов конструкций и элементов грунтового массива; учитывать в модели большое количество физико-механических характеристик и особенностей работы;
- ▶ формировать начальное напряженно-деформированное состояние грунтового массива и оценивать его изменение под меняющейся нагрузкой от возводимого сооружения; оценивать взаимное влияние зданий и сооружений друг на друга с учетом глубокой детализации моделирования последовательности возведения их конструктивных элементов;

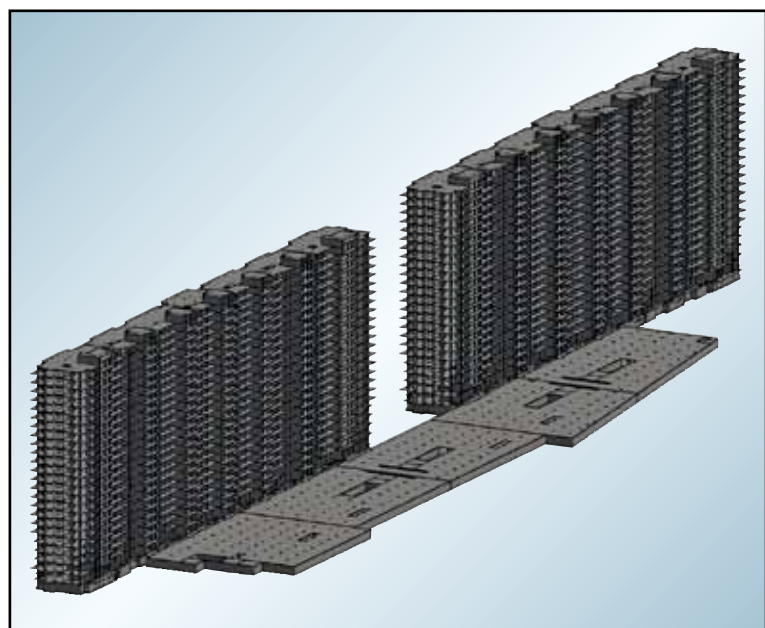


Рис. 1

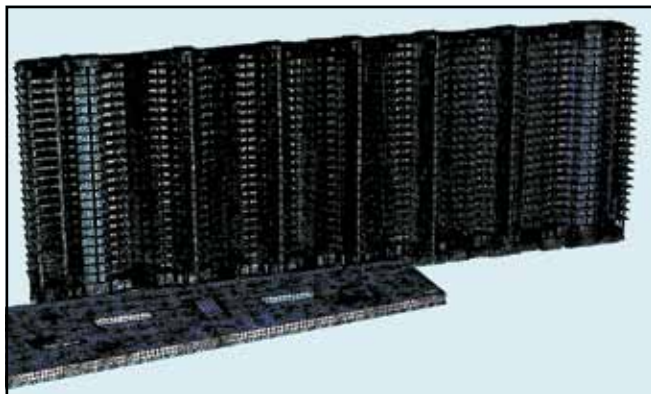


Рис. 2

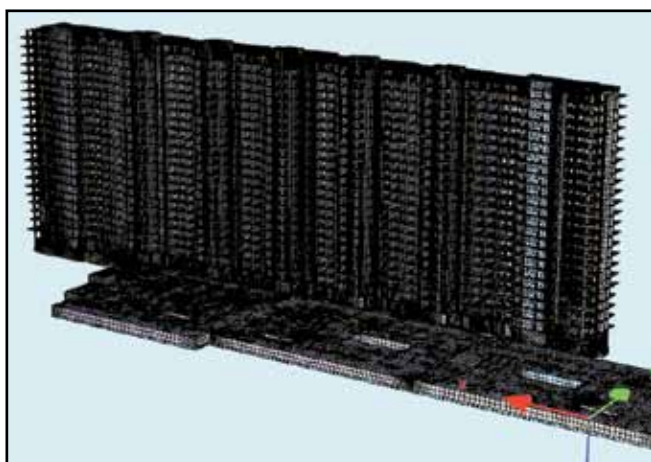


Рис. 3

- ▶ учитывать возможные изменения нагрузок и воздействий на различных этапах возведения и эксплуатации зданий и сооружений, подробно моделируя реалистичную историю нагружений; корректно решать задачи с предварительно напряженными конструкциями;
- ▶ анализировать в рамках единой модели/задачи осадки сооружений и их неравномерности, крены, прогибы конструктивных элементов, оценивать величины напряжений в конструкциях зданий и сооружений с подбором рациональных сечений, классов материала по прочности, армирования; выполнять динамические расчеты; проверять общую устойчивость системы и местную устойчивость отдельных ее элементов и т.п.

Масштаб применения ПК SOFiSTiK для геотехнического обоснования проектов постоянно расширяется. В частности, комплекс успешно применен при проектировании группы многоэтажных зданий с пристроенными паркингами в Санкт-Петербурге (стадия "Проект").

Проектируемый комплекс состоял из двух групп 23-этажных зданий, по 7 секций (по 5 деформационных блоков) в каждой группе, и примыкающего к ним заглубленного паркинга, разделенного на 5 деформационных блоков. В качестве препроцессора для создания 3D-модели применен Revit 2013 (рис. 1).

Аналитическая модель здания импортирована из Revit в ПК SOFiSTiK (рис. 2 и 3), доработана в препроцессоре SOFiPLUS(-X). Массив грунта смоделирован аналитическим полупространством (модуль HASE в со-

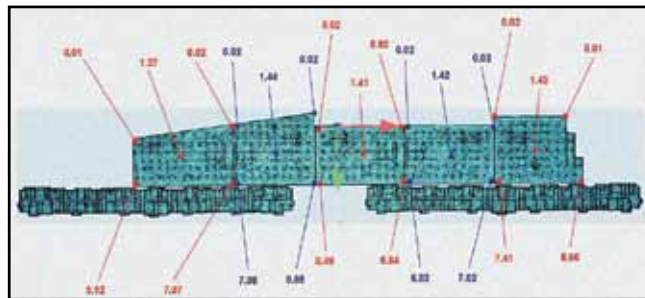


Рис. 4

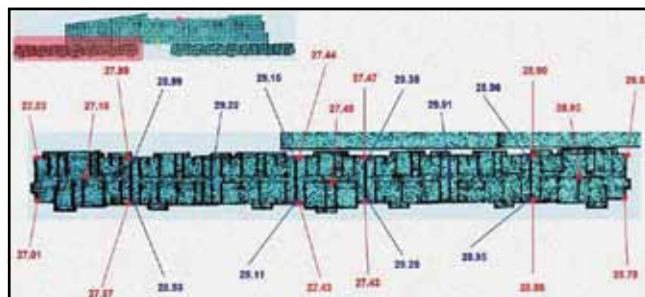


Рис. 5

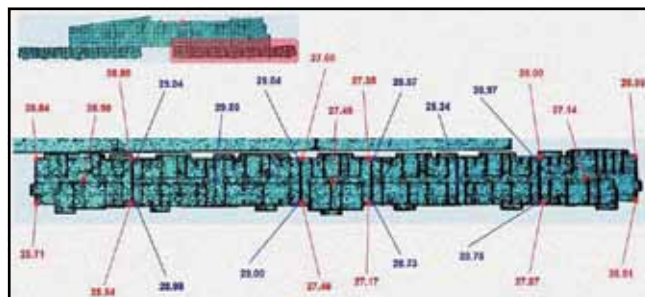


Рис. 6

ставе ПК SOFiSTiK) по инженерно-геологическим данным, полученным от 43-х скважин и точек статического зондирования, по которым построены 20 разрезов. Особенности грунтовых условий являлось наличие мощного слоя с благоприятными физико-механическими характеристиками (модуль деформации $E = 39$ МПа) у поверхности и резко неоднородное напластование нижерасположенных слоев с существенно разными характеристиками (от $E = 11-13$ МПа до $E = 43-50$ МПа) при наличии значительных перепадов толщин и отметок слоев и присутствии линз.

При использовании модуля HASE наиболее эффективен метод интерполяции профиля по геологическим скважинам с использованием весовых функций. Моделирование взаимодействия здания с грунтовым массивом определяется коэффициентами жесткости/податливости на границе двух участвующих систем. Этапами такого расчета являются: расчет расположения элементов грунтового массива в плане; расчет матрицы податливости; обращение матрицы податливости и сохранение матрицы жесткости; статический расчет системы; определение напряжений в грунте по рассчитанным перемещениям.

При расчете матрицы жесткости аналитического полупространства могут быть различными способами учтены сваи (как специальные макросы голов свай; как численно описанные функции с параметрами работы по острию и боковой поверхности; как стержневые конечные элементы в системе, располагающиеся ниже поверх-

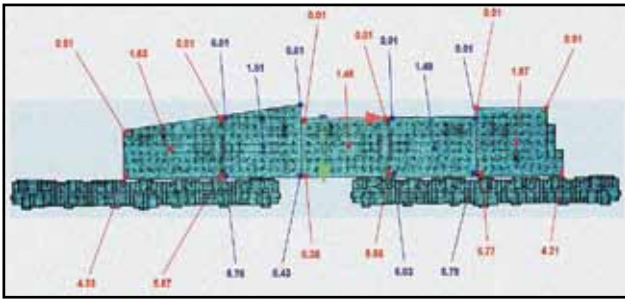


Рис. 7

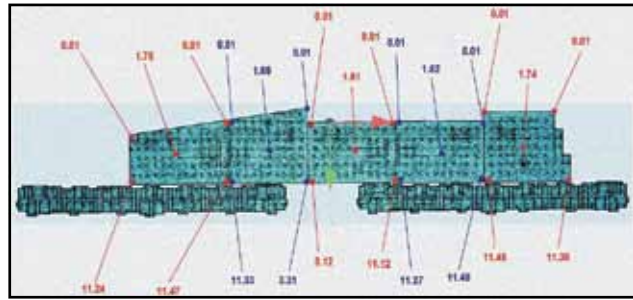


Рис. 10

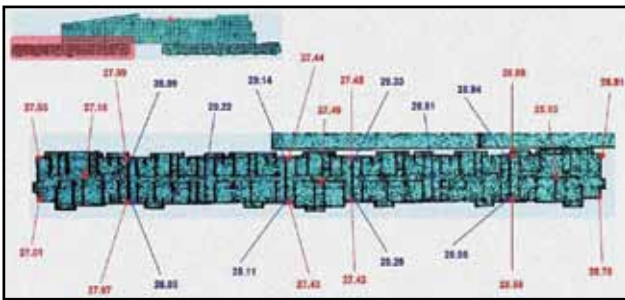


Рис. 8

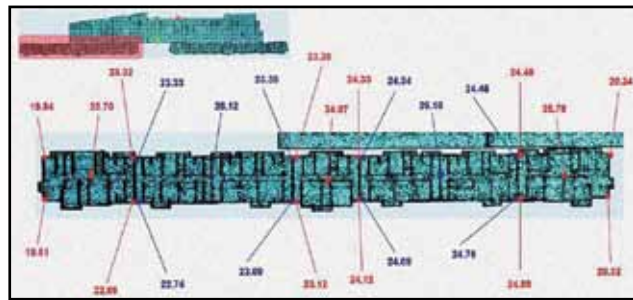


Рис. 11

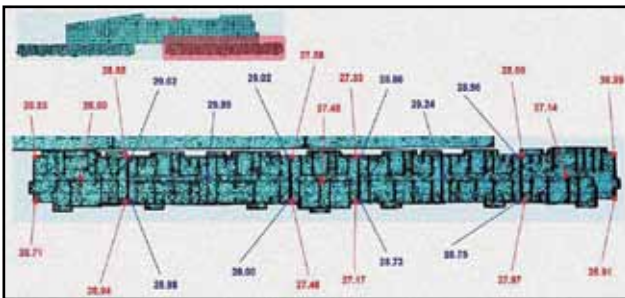


Рис. 9

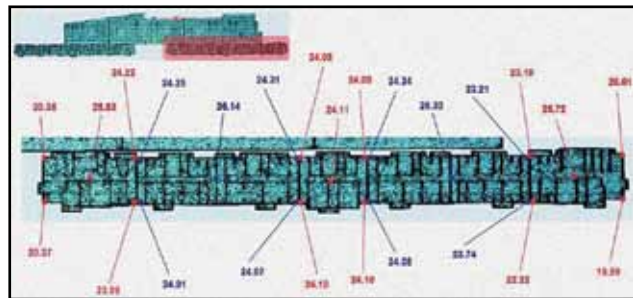


Рис. 12

ности полупространства). Помимо определяемого таким расчетом напряженно-деформированного состояния сооружения инженер также может получить усилия в стержневых элементах свай, усилия в аналитически описанном грунтовом массиве по остриям и боковым поверхностям свай, напряжения в объеме грунтового массива.

Преимущество применения модуля HASE в том, что, если традиционно для моделирования 3D-массива грунта используются объемные конечные элементы (число которых зачастую существенно больше числа конечных элементов в самой модели здания и диктует максимальную размерность задачи), то здесь использовано полуаналитическое описание элементов грунта. Это позволяет детальнее смоделировать реальными конечными элементами интересующее проектировщика сооружение без “затрат” реальных элементов на модель основания. В системе может быть создано 999 скважин и/или свай, 999 999 полуаналитических узлов и столько же элементов.

Постановка задачи заключалась в сравнении осадок и взаимовлияния многоэтажных секций друг на друга и на пристроенные автостоянки при трех возможных комбинациях типов фундаментов:

- А. свайный фундамент под 23-этажные секции и свайный под паркинги;
- В. свайный фундамент под 23-этажные секции и плитный под паркинги;

С. плитный фундамент под 23-этажные секции и плитный под паркинги.

Результаты расчетов в части осадок по варианту А представлены на рис. 4-6; по варианту В – на рис. 7-9; по варианту С – на рис. 10-12.

Результаты расчетов позволили сделать ряд выводов. Наименьшие осадки многоэтажных зданий получены при плитных фундаментах (особенности сравнительно благоприятных инженерно-геологических условий), а паркингов – при свайных фундаментах; сравнение осадок паркингов при свайном и плитном вариантах их фундаментов показало необоснованность свайного варианта; сравнение осадок 23-этажных зданий при свайном и плитном вариантах их фундаментов показало возможность плитного варианта и допустимость степени их влияния на плитные фундаменты паркингов.

Выполнение данного обоснования путем решения единой конструкторско-геотехнической задачи, выбор технически и экономически обоснованного варианта фундаментов с детальным моделированием сложных и неоднородных инженерно-геологических условий стало возможным исключительно благодаря применению ПК SOFiStiK.

Ю. Э. Минкин, к.т.н., главный специалист-конструктор, консультант по МКЭ-анализу, компания ПСС