

Д.А.ПОТЕМКИН, канд. техн. наук, доцент, *potyomkin@list.ru*
П.А.ДЕМЕНКОВ, канд. техн. наук, доцент, *dem-petr@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

D.A.POTYOMKIN, PhD in eng. sc., associate professor, *potyomkin@list.ru*
P.A.DEMENKOV, PhD in eng. sc., associate professor, *dem-petr@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОМБИНИРОВАННОГО КОРОБЧАТО-СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА В СЛАБЫХ ГРУНТАХ

Рассмотрены результаты моделирования работы двух вариантов многофункционального подземного комплекса, являющегося фундаментом многоэтажного высотного здания. Комплекс играет роль комбинированного фундамента. Моделирование выполнено с учетом поэтапного строительства подземной и наземной частей здания.

Ключевые слова: многофункциональный подземный комплекс, комбинированный фундамент, грунтовое основание, оседания, зона влияния.

MODELING OF WORK OF ELEMENTS OF THE COMBINED BOX-SHAPED AND PILE BASE IN WEAK SOIL

In work results of modeling of work of two options of the multipurpose underground complex being the base of the multystoried high-rise building are considered. The complex plays a role of the combined foundation. Modeling is executed taking into account stage-by-stage construction of underground and land part of the building.

Key words: multifunctional underground facility, combined foundation, soil displacement, zone of influence of a construction.

В настоящее время проблема нехватки пространства при интенсивной застройке городских территорий достаточно эффективно решается путем развития «вглубь». Все большее внимание уделяется проектам городских зданий и сооружений с развитой подземной частью, когда типовые фундаменты заменяются многофункциональными комплексами, имеющими различное назначение. Современная тенденция увеличения габаритов строящихся заглубленных или подземных частей сооружений, возводимых в котлованах, позволяет сделать вывод о том, что дальнейшее освоение подземного пространства будет развиваться именно таким образом.

Особенностью инженерно-геологических условий строительства в Петербурге является

наличие мощной толщи четвертичных отложений слабых дисперсных грунтов. Мощность грунтовой толщи, не пригодной для использования в качестве основания для наземных объектов, может составлять 20-35 м.

Здесь рассматриваются два варианта многофункционального комплекса, являющегося частью многоэтажного высотного здания. Комплекс располагается в подземной части здания и играет роль фундамента, заменяя типовой плитно-свайный фундамент.

Исходные данные к моделированию напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вмещающего коробчатый фундамент типового высотного здания, следующие: высота здания 75 м, размеры в плане 48 × 56 м, высота этажа 3,5 м, подзем-

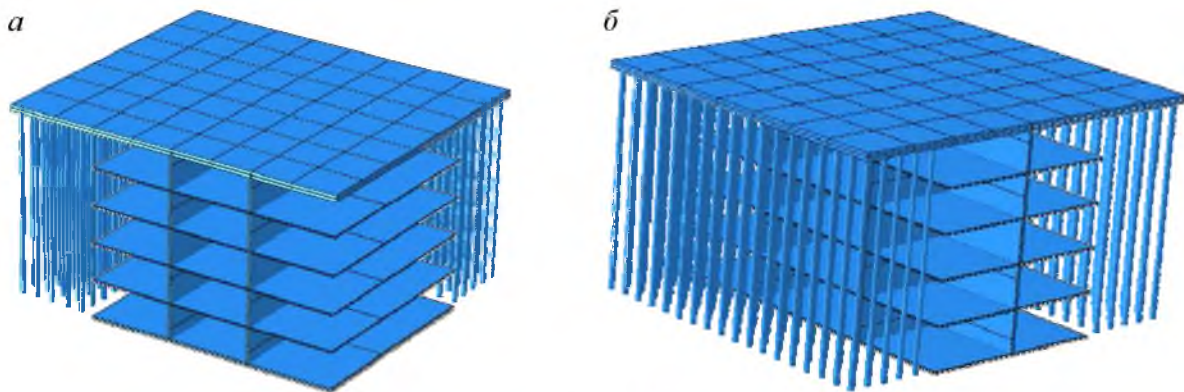


Рис.1. Общий вид конструкций комбинированного фундамента

ная часть здания 4 м (до отметки подошвы фундамента); здание каркасное, из монолитного железобетона, стены здания самонесущие, сетка колонн $6,8 \times 6,8$ м; нагрузка от колонн при поперечном сечении $0,6 \times 0,6$ м нормативная 490 кН, расчетная 585 кН; нагрузка от стен нормативная 312 кН/м, расчетная 370 кН/м.

Глубина подземной части составляет 30 м при размерах в плане, равных размерам здания, 48×56 м, высота подземного этажа 6 м, число этажей 5; внутренние стены являются несущими.

На начальном этапе строительства предусмотрено сооружение стены в грунте по периметру будущего многофункционального комплекса с последующим использованием ее в качестве внешней несущей стены.

Конструктивные особенности комбинированного фундамента первого типа (рис.1, а): общие размеры фундамента в плане 48×56 м, размеры в плане коробчатой части фундамента 34×41 м, высота этажа коробчатой части 6,0 м, свайное поле по двум пер-

пендикулярным сторонам «коробки» по сетке $2,7 \times 2,7$ м по пять рядов с каждой стороны, диаметр сваи 0,63 м, длина равна высоте коробчатой части (30 м).

Комбинированный фундамент второго типа (рис.1, б) отличается от первого только размерами в плане коробчатой части фундамента (27×48 м) и расположением свайного поля по параллельным сторонам «коробки».

Для обоих типов комбинированного фундамента принята следующая толщина стен и перекрытий: «стены в грунте» 1,0 м; внутренних несущих стен 0,5 м; перекрытий 0,3 м.

Общие размеры вмещающего указанные объекты грунтового массива 170×170 м в плане (по осям x и y) и 100 м в глубину (по оси z). Грунтовый массив в районе строительства представлен пятью разнотипными слоями. Некоторые расчетные физико-механические характеристики грунтов основания приведены в таблице.

В расчетах напряженно-деформированного состояния грунтового массива,

Расчетные характеристики материалов/грунтов

Материал/грунт	Мощность слоя, м	Модуль общей деформации, МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м ³
Бетон подготовки фундамента (В7,5)	–	16000	0,20	2400
Бетон фундамента (В30)	–	30000	0,20	2500
Грунт 1 (насыпной грунт)	2	5	0,49	1600
Грунт 2 (суглинки легкие текучие)	7	7,2	0,33	1920
Грунт 3 (суглинки легкие текучепластичные)	11	9,4	0,32	1940
Грунт 4 (супеси пылеватые пластичные)	8	13,9	0,31	2160
Грунт 5 (глины легкие полутвердые, твердые)	72	28,0	0,31	2020

вмещающего элементы подземного многофункционального комплекса и являющегося фундаментом высотного здания, предусмотрена последовательность ведения земляных и строительно-монтажных работ согласно технологии «топ-даун» (top-down).

Численные модели непосредственно реализуют расчет укрупненных технологических этапов: от моделирования начального (до начала работ) напряженно-деформированного состояния грунтового массива до возведения конструкций четырех этажей по всей площади фундамента, поэтапного возведения конструкций остальных 18 этажей (до 22 этажей).

Нагрузка на фундамент растет постепенно по мере возведения конструкций здания. В расчетах напряженно-деформированного состояния грунтового массива, включающего элементы комплекса, рассмотрены пять укрупненных технологических этапов строительства высотной части. Этапы отражают последовательность возведения конструкций с постепенным неравномерным нагружением фундамента.

Моделирование поэтапного строительства высотного здания, опирающегося на комбинированный многоэтажный фундамент, дало следующие результаты.

Комбинированный фундамент первого типа (рис.2, *а*). Максимальные смещения в грунтовом массиве после завершения монтажа конструкций подземной части здания (завершения последовательности работ по технологии «топ-даун») и возведения первых четырех этажей высотного здания могут составить 0,40 м. Размеры мульды оседания в

плане могут достигать 140-150 м, т.е. по одному размеру здания в плане в каждую сторону. При этом зона интенсивных смещений (от 0,20 до 0,40 м) простирается на 5-7 м от конструкций коробчатого фундамента. Следует отметить, что коробчатая часть фундамента вызывает ощутимые оседания, обусловленные уплотнением грунта под днищем, при этом общая зона влияния невелика.

На этом этапе смещения в грунтовом массиве (рис.3, *а*) обусловлены в основном собственным весом конструкций подземной части здания; последовательность земляных и строительно-монтажных работ, предусмотренная технологией «топ-даун», не позволяет развиваться большим смещениям в массиве, несмотря на значительные объемы выемки грунта. Эпюра смещений для данного этапа дана на рис.3, *а*.

После завершения возведения 22 этажей здания (заключительный этап строительства) оседания коробчатой части фундамента могут составить 0,46 м, а оседание свайной части может возрасти до 0,12-0,15 м (рис.3, *б*).

В целом можно отметить, что по мере строительства многофункционального комплекса основная часть вертикальных смещений реализуется на этапе сооружения подземной части, прирост оседаний от возведения высотной части может составить до 15 %, размеры зоны влияния комплекса почти не меняются (до 5-7 %) и являются весьма «компактными», заметный прирост смещений дает свайная часть фундамента: от 0,04 до 0,15 м.

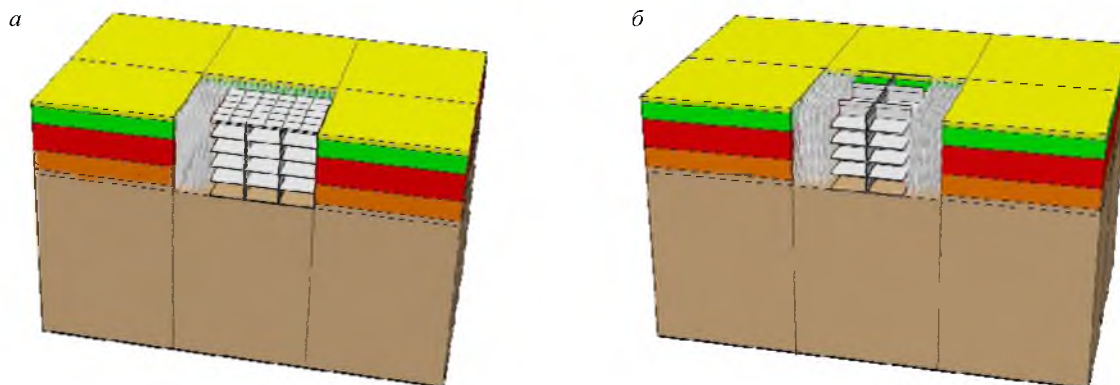


Рис.2. Фрагменты моделей с подземной частью многофункционального комплекса: *а* – тип 1; *б* – тип 2

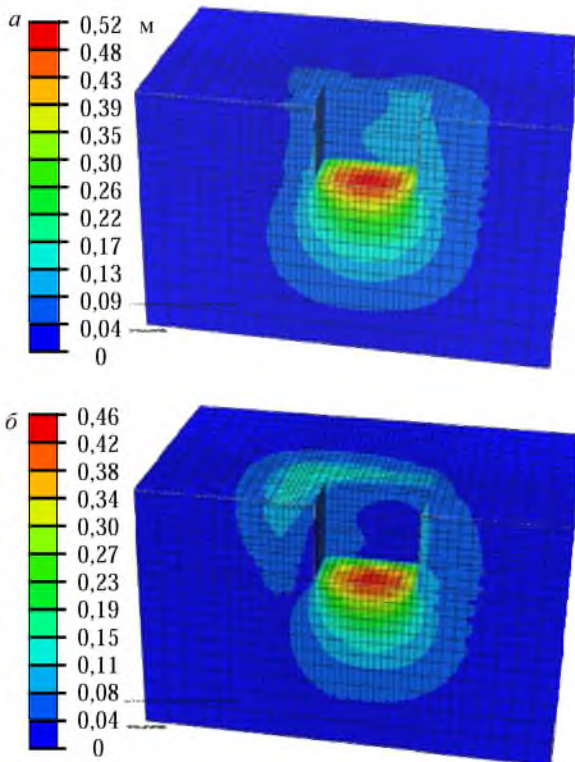


Рис.3. Смещения в грунтовом массиве после возведения четырех этажей здания с фундаментом типа 1 после строительства подземной части и первых четырех этажей высотной части (а) и после окончания строительства (б)

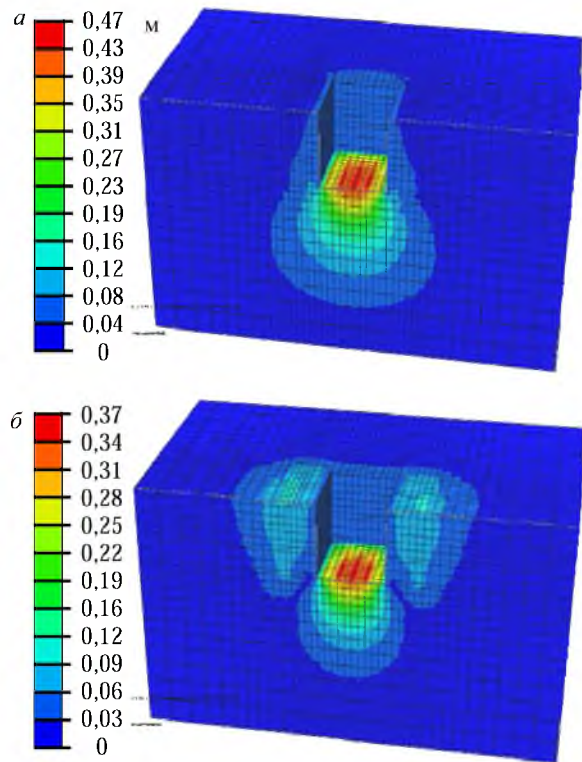


Рис.4. Смещения в грунтовом массиве после возведения четырех этажей здания с фундаментом типа 2 после строительства подземной части и первых четырех этажей высотной части (а) и после окончания строительства (б)

Комбинированный фундамент второго типа (см.рис.2, б). Максимальные смещения в грунтовом массиве после завершения монтажа конструкций подземной части здания (завершения последовательности работ по технологии «топ-даун») и возведения первых четырех этажей высотного здания могут составить 0,37 м, размеры мульды оседания в плане – 60-70 м. Зона интенсивных смещений (от 0,22 до 0,37 м) располагается практически под нижней плитой коробчатой части фундамента, что, по всей видимости, объясняется интенсивным уплотнением грунта под «коробкой». Здесь стоит отметить хорошую работу защитной конструкции «стена в грунте», не позволяющей реализоваться интен-

сивным осадкам в непосредственной близости от конструкций (рис.4, а).

На конечном этапе (22 этажа) возведения высотной части здания (рис.4, б) максимальные оседания в грунтовом массиве могут достигать 0,47 м под коробчатой частью и 0,12-0,13 м в районе двух участков свайных полей. На оседания поверхности влияет практически только работа свайных полей; смещения в грунтовом массиве от сооружения коробчатой части комбинированного фундамента реализуются в нижней части «коробки». Таким образом, можно отметить три области интенсивных смещений: в районе нижней части коробчатой части фундамента и в районе свайных полей по обе стороны от «коробки».