

УДК 624.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАРКАСА ЗДАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, В. С. Дороган, А. И. Гриценко

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Рассмотрено влияние модели грунтового основания на результаты динамических расчетов. Исследование выполнено для многоэтажного монолитного каркаса жилого здания. Расчетная динамическая модель разработана методом конечных элементов в программном комплексе Лира-САПР по пространственной схеме «здание–фундамент–грунтовое основание». В расчетной схеме учтены все нагрузки и воздействия в соответствии с требованиями нормативной документации. Для моделирования податливого грунтового основания, с учетом армированного слоя, буровыми элементами повышенной прочности выбрана модель Пастернака. Выполнены расчеты спектра частот и определены формы собственных колебаний каркаса здания на двух видах основания: податливом и абсолютно жестком. По результатам расчета сделаны выводы и даны рекомендации по уточнению динамической модели каркаса здания.

Ключевые слова: динамическая модель, формы колебаний, частоты колебаний, спектр частот, метод конечных элементов, грунтовое основание, модель Пастернака, пульсационная составляющая ветровой нагрузки.

MODELING THE EARTH FOUNDATION IN A DYNAMIC MODEL OF A BUILDING FRAMEWORK USING THE FINITE ELEMENT METHOD

G. M. Kravchenko., E. V. Trufanova, V. S Dorogan, A. I. Gritsenko

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The article considers the influence of the earth foundation model on the results of dynamic calculations. The study was performed for a multi-storey monolithic frame of a residential building. The calculated dynamic model was developed by the finite element method in the PC Lira software package according to the spatial scheme "building-foundation - ground base". The design scheme takes into account all loads and impacts in accordance with the requirements of regulatory documentation. The Pasternak model was chosen to model a pliable soil base with a reinforced layer of high-strength drilling elements. Calculations of the frequency spectrum were performed and the forms of natural vibrations of the building frame were determined on two types of foundation: pliable and absolutely rigid. Based on the results of the calculation, conclusions and recommendations are made to refine the dynamic model of the building frame.

Keywords: dynamic model, forms of natural vibrations, frequency spectrum, finite element method, ground base, Pasternak model, wind load pulsation component.

Введение. Современные нормы и правила в строительстве требуют разрабатывать модели зданий по пространственной схеме с учетом всех факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние конструкций. Перемещения грунта в процессе возведения и

эксплуатации здания вносят существенный вклад в общую картину деформирования конструкций каркаса [1]. Для учета основания в расчетной модели разработано несколько методов задания податливости грунта [2, 3]. Выбор инженером-расчетчиком метода учета основания при создании расчетной модели «здание-фундамент-основание» напрямую влияет на результаты расчета и, следовательно, на правильность принятых конструктивных решений.

Постановка задачи. Необходимо разработать динамическую модель многоэтажного каркаса здания и выполнить исследование влияния учета грунтового основания, а также выполнить анализ результатов динамических расчетов и предложить рекомендации для уточнения расчетных параметров динамических моделей монолитных каркасов зданий.

Материалы и методы. Поставленная задача решалась численным методом (методом конечных элементов). Объектом исследования выбрана секция 18-этажного жилого здания, запроектированного по каркасно-монолитной конструктивной схеме. Конечно-элементная модель разработана по пространственной плитно-стержневой системе в программном комплексе Лира-САПР. Для моделирования конструкций использованы универсальные пространственные стержни или оболочки с тремя или четырьмя узлами (рис. 1).

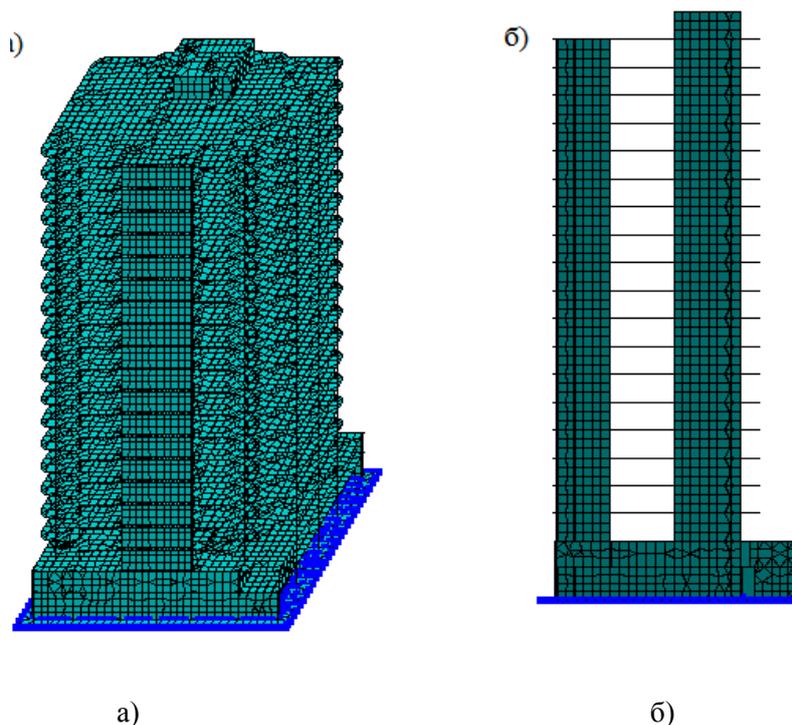


Рис. 1. Конечно-элементная модель каркаса здания: а — 3D-проекция; б — вид сбоку

Конечным элементам присвоены жесткости в соответствии с принятыми сечениями и материалами конструкций. В расчетной модели учтены нагрузки от собственного веса несущих конструкций, постоянные, полезные, снеговые нагрузки с учетом снеговых мешков [4]. Статическая составляющая ветровой нагрузки учтена в двух направлениях (рис. 2). Пульсационная составляющая ветровой нагрузки задана средствами программного комплекса [5].

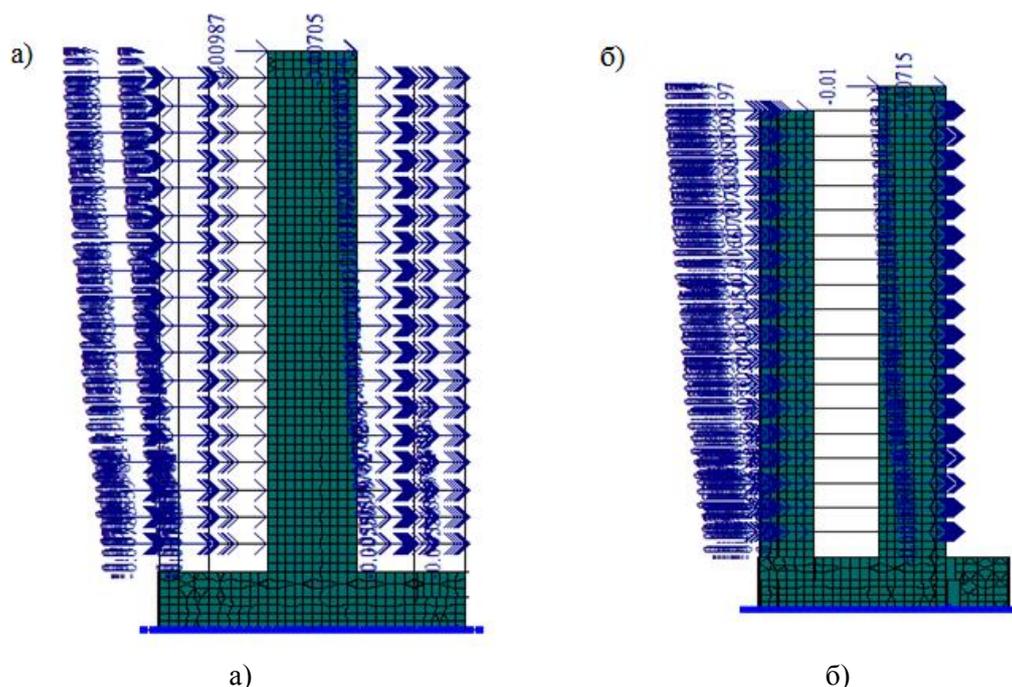


Рис. 2. Статическая составляющая ветровой нагрузки:
а — вдоль здания; б — поперек здания

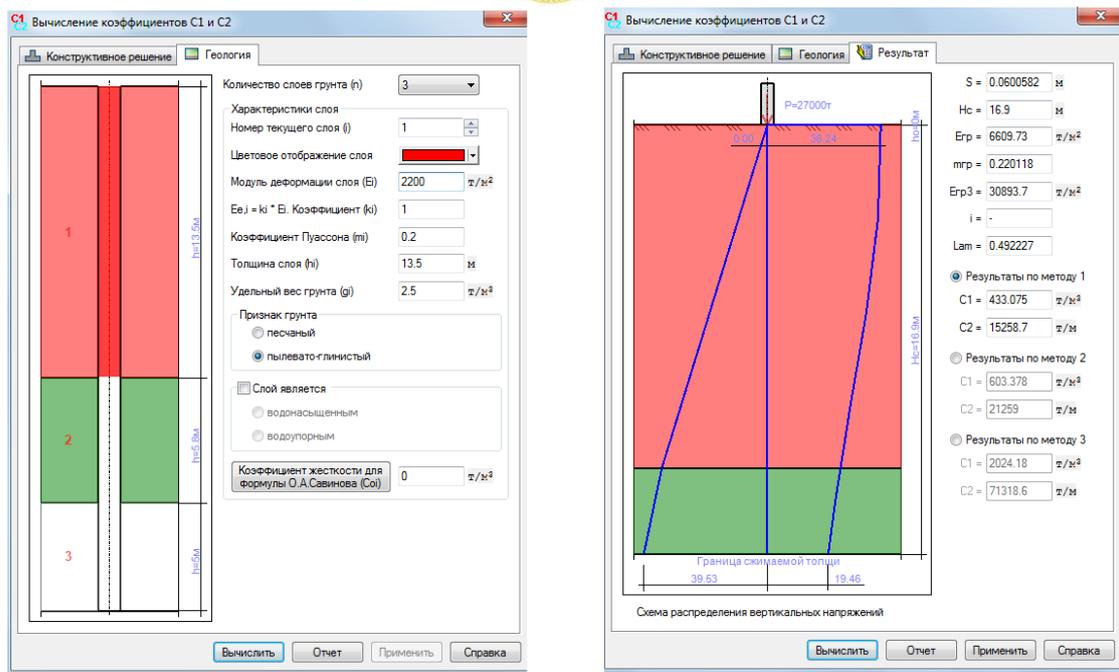
Грунтовое основание учитывалось по модели Пастернака с двумя коэффициентами постели. Для учета распределительной способности основания в расчетную модель каркаса здания добавлены законтурные одноузловые и двухузловые конечные элементы. В программном комплексе Лира-САПР коэффициенты постели рассчитываются по формулам (1–2).

$$C1 = \frac{E_0}{H_c(1-2\nu_0^2)}, \quad (1)$$

где E_0 — усредненный модуль деформации; H_c — глубина сжимаемой толщи; ν_0 — усредненный коэффициент Пуассона.

$$C2 = \frac{E_0 H_c}{6(1+\nu_0)}, \quad (2)$$

Выполнен предварительный расчет и получены нагрузки на основание здания. Расчет коэффициентов постели выполнен с использованием средств программного комплекса Лира-САПР по схеме линейно-упругого полупространства. В расчете учтено три слоя грунтов, включая армированный слой основания под фундаментной плитой буровыми элементами повышенной прочности (рис. 3 а).



а)

б)

Рис. 3. Расчет параметров упругого основания:
а — геология; б — результаты расчета

В результате расчета получены значения коэффициентов постели, которые импортированы в расчетную модель каркаса здания (рис. 3 б).

Обсуждение результатов. Выполнен динамический расчет каркаса здания с учетом упругого основания, получены частоты и формы колебаний. Первые две формы носят поступательный характер, третья — крутильный (рис. 4).

Такие формы колебаний классифицируют конструктивные решения каркаса здания как простые [6–7]. Это упрощает требования к расчетам конструктивных элементов каркаса здания и сокращает время проектирования. Также при простых конструктивных решениях выполняется требование экономичности проекта.

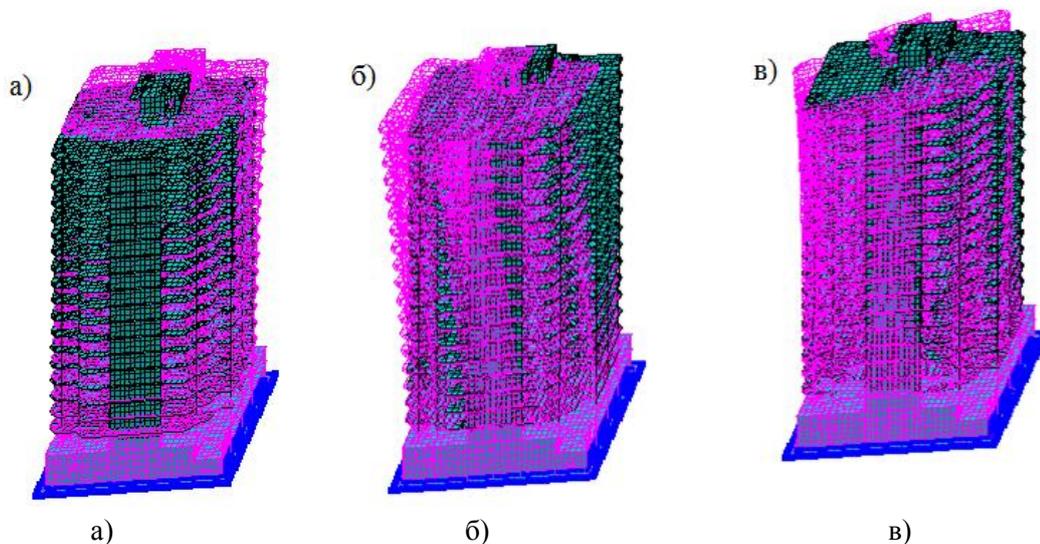


Рис. 4. Собственные формы колебаний:
а — 1 форма; б — 2 форма; в — 3 форма

Выполнен динамический расчет каркаса здания на абсолютно жестком основании. Анализ частот и периодов показал, что при расчете на податливом основании частоты колебаний возросли до 74%, по сравнению с результатами динамического расчета на жестком основании.

Заключение. В процессе разработки расчетной модели зданий и сооружений инженер-расчетчик должен самостоятельно выбирать модель основания, основываясь на исследованиях ученых и рекомендациях фирм-разработчиков программных комплексов. Отсутствие четких нормативных требований к моделям грунтового основания при динамических расчетах конструкций зданий и сооружений приводит к снижению надежности проектных решений.

Выполненное исследование влияния податливого грунтового основания на спектр частот и форм собственных колебаний каркаса здания показывают, что учет основания по теории Пастернака позволяет уточнить параметры динамической расчетной модели каркаса здания. Применение уточненных динамических моделей повышает точность полученных результатов расчета, следовательно, безопасность конструктивных решений каркаса здания.

Библиографический список

1. Коляскина, С. А. Исследование влияния вариантов расчета грунтового основания и методов расчета коэффициентов постели на напряженно-деформированное состояние здания / С. А. Коляскина, П. И. Егоров // Ученые заметки ТОГУ. — 2014 — Т. 5, № 2. — С. 21–34.
2. Кравченко, Г. М. Влияние модели основания на напряженно-деформированное состояние фундаментной плиты / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Т. Р. Кубашов // Строительство-2015 : современные проблемы строительства : мат. междунар. науч.-практич. конф. — Ростов-на-Дону. — 2015. — С. 481–483.
3. Федоров, Д. А. Численное исследование задачи совместного расчета конструкций с основаниями по реализациям в вычислительных комплексах SCAD и «ЛИРА» / Д. А. Федоров, К. Г. Мокляк // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2011. — № 12. — С. 97–104.
4. Критерии оценки динамических моделей железобетонного каркаса здания / Г. М. Кравченко, А. П. Коробкин, Е. В. Труфанова, В. И. Лукьянов // Science Time. — 2014. — № 12 (12). — С. 257.
5. Моделирование пульсационной составляющей ветровой нагрузки на каркас здания по нескольким методикам расчета / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, И. В. Кондрик, И. А. Хатхоху // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2007. — № 2. — С. 98. — URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/issue/10>
6. Агаханов, Э. К. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания / Э. К. Агаханов, Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 8–15.
7. Исследование собственных колебаний здания сложной параметрической формы / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, И. Ю. Данилейко, В. А. Думбай // Молодой исследователь Дона : [сайт]. — 2019. — № 6 (21). — С. 41–47. — URL: <http://mid-journal.ru/upload/iblock/cd8/10>



Об авторах:

Кравченко Галина Михайловна, доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, galina.907@mail.ru

Труфанова Елена Васильевна, доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, El.Trufanova@mail.ru

Дороган Владимир Сергеевич, студент кафедры «Техническая механика», Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), 19dorogan99@mail.ru

Гриценко Антон Игоревич, студент кафедры «Техническая механика», Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), swatag@mail.ru

Authors:

Kravchenko, Galina M., Associate professor, Department of Technical Mechanics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand.Sci., Associate professor, galina.907@mail.ru

Trufanova, Elena V., Associate professor, Department of Technical Mechanics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand.Sci., Associate professor, El.Trufanova@mail.ru

Dorogan, Vladimir S., Student, Department of Technical Mechanics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), 19dorogan99@mail.ru

Gritsenko, Anton I., Student, Department of Technical Mechanics, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), swatag@mail.ru