

УДК 624.131:624.15

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ „ОСНОВАНИЕ – ФУНДАМЕНТ –
ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ” В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*д. т. н., проф. Тимченко Р. А., д. т. н., проф. Попов С. О.,
к. т. н., ст. преп. Кришко Д. А., ст. преп. Сухан А. П.
ГВУЗ «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог*

Постановка проблемы. Выполнение требований расчёта оснований по предельным состояниям должно предусматривать необходимость применения конструктивных мероприятий. Сложность грунтовых условий определяется возможностью проявления просадочных процессов, сейсмичности подработанной территории, оползневыми процессами, подтоплением и т.д. [1-4]

Точность существующих методов расчёта оснований во многом зависит также от достоверности исходных данных, погрешности результатов расчёта и квалификации исполнителей. [5, 7-9]

Совершенствование современных программных комплексов в направлении облегчения выбора (графический анализ результатов, сравнение результатов по различным расчетным схемам, получение информации об изменении свойств системы на основе коэффициентов чувствительности) позволяет более обоснованно решать вопросы оптимального проектирования: построение изополей, изолиний напряжений, перемещений, усилий, построение деформируемых схем, численная и цветовая индикация элементов и их атрибутов [6].

Цель исследований. Надёжность проектных решений в этих условиях может быть достигнута на основе использования комплексных исследований с применением математического моделирования, позволяющих выполнить более полную оценку системы „основание – фундамент – верхнее строение”.

Основная часть. Рассматривалось здание, конфигурация которого представляет собой крестообразную форму в плане, для условий подрабатываемых территорий. Габаритные размеры первого этажа по наружному абрису уменьшены и описывают форму по периметру на 1,5 м меньше внешнего контура здания, обнажая

крайний ряд колонн монолитного каркаса. Размеры здания в осях $55,2 \times 55,2$ м, общая высота – 47,4 м (12 этажей), высота этажа – 3,3 м.

Здание решено в виде монолитного железобетонного каркаса.

Конструктивная схема высотного инженерного сооружения – каркасная.

Здание решено в виде монолитного железобетонного каркаса по рамно-связевой схеме с несущими элементами.

Рассматривались два варианта применения фундаментных конструкций.

I вариант – плитный фундамент в виде сплошной монолитной железобетонной плиты высотой 1200 мм, с глубиной заложения 6,4 м (рис. 1, 2).

II вариант – монолитный железобетонный плитный фундамент-саморегулятор (ПФС) [10] с глубиной заложения 6,4 м (рис. 1, 3).

Отметка низа подошвы фундамента находится на глубине 6,4 м в ИГЭ 5 – суглинки лессовые бурые, твердые с включением карбонатов ($E_{II} = 10,7$ МПа, $C_{II} = 29,3$ кПа, $\varphi_{II} = 23,03^\circ$), ниже залегают непросадочные грунты.

Моделирование работы фундаментов выполнялось с помощью программы „ЛИРА 9.6”. Объемная задача:

1) железобетон упругий, грунт упругий (*I* вариант, *II* вариант);

2) железобетон неупругий, грунт упругий (*I* вариант, *II* вариант).

Модуль упругости бетона (E_b) класса В15 с учетом коэффициента условий работы (0,85) принят $E_b = 30\,000$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,2$.

Фундамент *I* моделировался универсальным прямоугольным конечным элементом оболочки – КЭ 41. В фундаменте *II* плита моделировалась универсальным прямоугольным конечным элементом оболочки – КЭ 41, а опорные элементы – универсальным пространственным стержневым элементом – КЭ 10.

В качестве модели основания по данным инженерно-геологических характеристик принята модель линейно-деформируемого слоя с коэффициентами $C_1 = 69,551$ т/м³ и $C_2 = 61758$ т/м³.

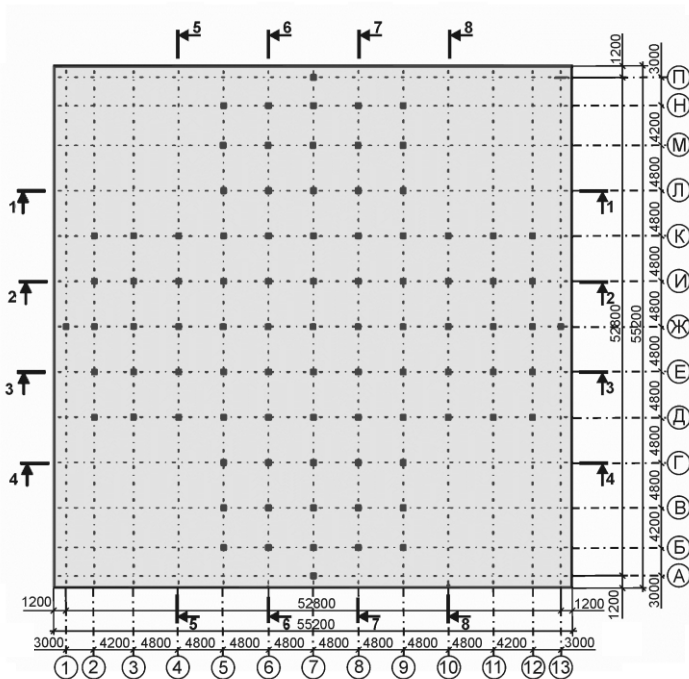


Рис. 1. План I и II варианта фундаментов

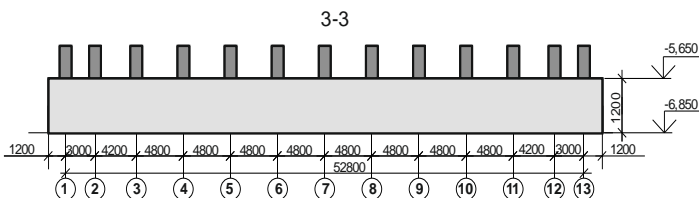


Рис. 2. Конструктивное решение плитного фундамента, вариант I (сечение 3-3)

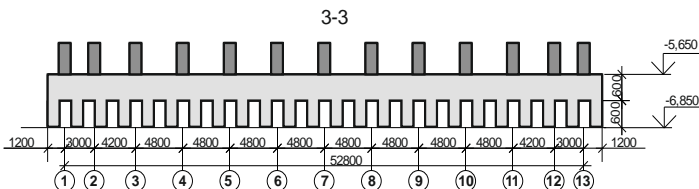
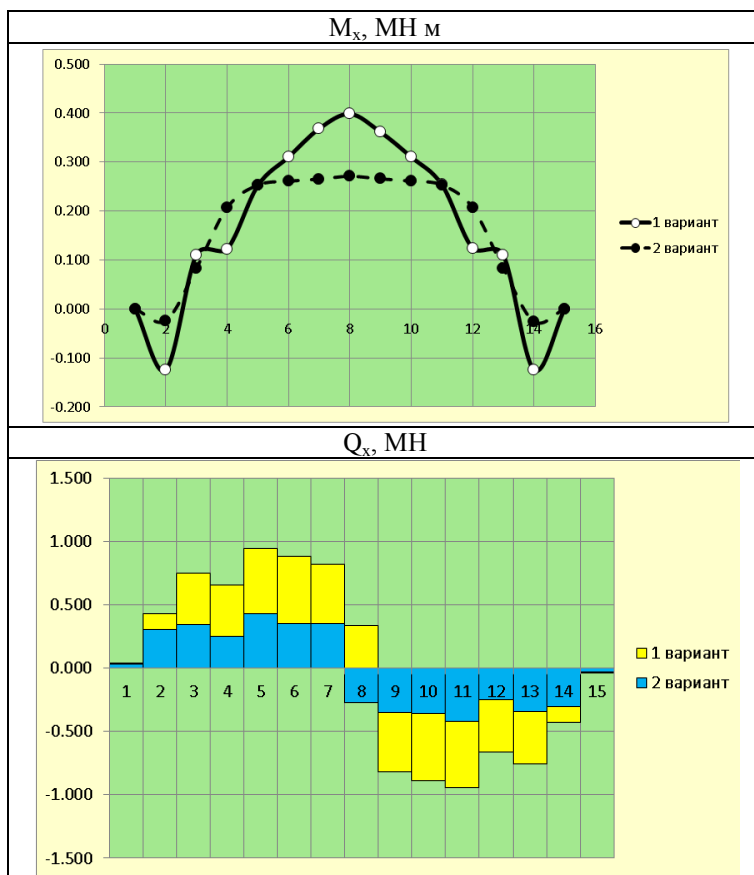


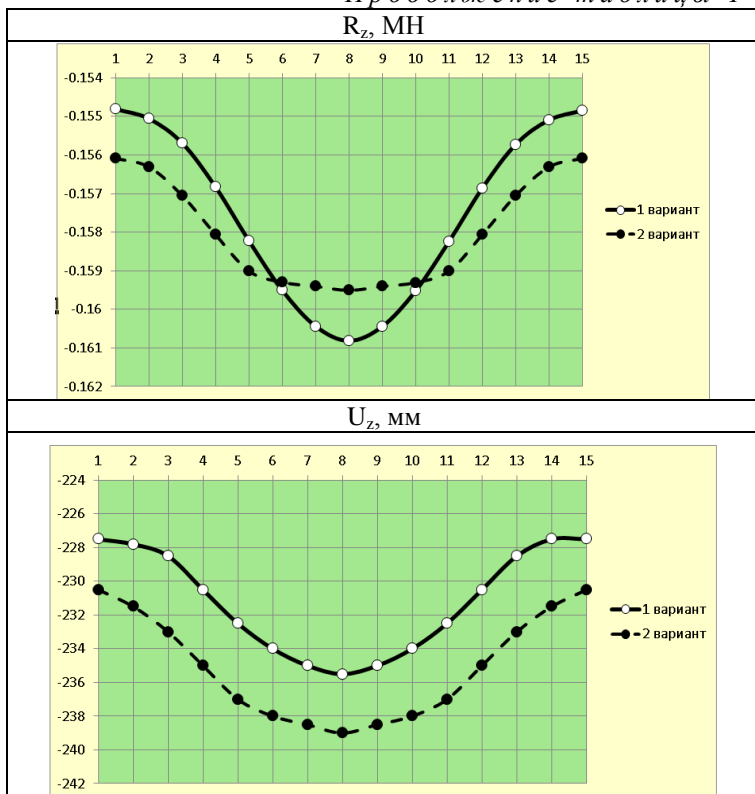
Рис. 3. Конструктивное решение плитного фундамента, вариант II (сечение 3-3)

Расчет основания выполнен с помощью системы „ГРУНТ” на основе построения пространственной модели грунта. Грунт толщиной $H = 33,9$ м моделировался геометрически нелинейной оболочкой, конечным элементом КЭ 341-344. Дискретизация КЭ 41 и КЭ 341-344 принята с размерами $0,6 \times 0,6$ м. Сопоставительный анализ двух конструктивных решений показывает преимущества ПФС (табл.1).

Таблица 1
Сравнение I и II вариантов (нелинейный железобетон)
Сечение 3-3



Продолжение таблицы 1



По указанным сечениям для *I* варианта значение $M_{I \max} = 0,869$ МН·м и соответствующее значение для *II* варианта $M_{II \max} = 0,630$ МН·м, снижены значения и поперечных сил $Q_{I \max} = 2,823$ МН и $Q_{II \max} = 2,115$ МН. В целом, нелинейный расчет фундаментных конструкций на деформируемом основании по системе „ГРУНТ” показывает снижение усилий по рассматриваемым сечениям на 8-11% в сравнении с линейным.

При моделировании взаимодействия ПФС с основанием установлена возможность достоверной оценки напряженно-деформированного состояния фундамента и основания, что подтверждает предложенную теорию совместной работы фундамента со структурной поверхностью с основанием. Также выявлены особенности поведения конструкции при деформационных воздействиях основания.

Сложная механическая природа взаимодействия плиты с основанием показывает необходимость расчета системы „основание – плита – верхнее строение”. Плита при возведении первых этажей здания является достаточно жесткой по причине относительно малых значений передаваемых нагрузок [11].

Сопоставление результатов расчета с результатами эксперимента показывают в целом хорошее совпадение. Имеющиеся несоответствия в крайних точках фундаментной конструкции следует отнести к недостаточно точной расчетной схеме верхнего строения и выбранной модели грунтового основания [12].

На формирование компонентов напряженно-деформированного состояния плитного фундамента саморегулятора влияют расчетные и конструктивные факторы:

- начальная площадь контактной поверхности;
- вид расчетной модели грунтового основания и применение ее в границах различных жесткостных характеристик основания;
- выбор схемы загрузки фундамента временными нагрузками;
- учет совместной работы плитного фундамента-саморегулятора и верхнего строения;
- учет неупругих характеристик элементов расчетной системы.

Вывод. Рассмотренный пример проектирования фундамента указывает на то, что надёжность зданий и сооружений, возводимого в сложных геологических условиях, требуют тщательного анализа инженерно-геологических условий, экспертной оценки принятых проектных решений и технологических условий выполнения работ по устройству фундаментов.

В рассмотренных подходах и перечисленных факторах возможны различные варианты принятия решений, которые в той или иной степени влияют на окончательное проектное решение плитного фундамента и определяют его технико-экономические показатели, его надежную эксплуатационную пригодность и, в целом, всего сооружения. Определяющим моментом оценки надежности плитного фундамента при проектировании есть учет влияния расчетных факторов на конечное определение напряжений и усилий в системе „основание – фундамент – верхнее строение”.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Магай А.А. Проблемы проектирования и строительства высотных зданий / А.А. Магай, Е.А. Магай // Жилищное строительство. – 2005. – №4. – С. 2–5.

2. Рекомендации по проектированию и устройству оснований, фундаментов и подземных частей многофункциональных высотных зданий и комплексов/ НИИОСП. – М., 2006. – 183 с.
3. Тер-Мартirosян З.Г. Проблемы механики грунтов, оснований и фундаментов при строительстве многофункциональных высотных зданий и комплексов / З.Г. Тер-Мартirosян, В.И. Теличенко, М.В. Королев // Вестник МГСУ. – 2006.– №1.– С.18–27.
4. Еремин В.Я. Высотным зданиям – надежный фундамент / В.Я. Еремин, А.В. Еремин// Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: тр. междунар. конф. – Уфа, 2006. – Т.1. – С. 69–75.
5. Федоровский В.Г. Расчет осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит/ В.Г.Федоровский, С.Г.Безволев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2000. – № 4. – С. 10 –18.
6. Безволев С.Г. Автоматизированные средства для расчета фундаментных плит: Ч.1, 2// Механизация строительства. – 2003. – №12. – С.15–18; 2004. – №5. – С. 20–21.
7. Крыжановский А.Л. Вопросы надежности проектного решения фундаментных плит высотных зданий/ А.Л. Крыжановский, О.И. Рубцов // Вестник МГСУ. – 2006. – №1. – С. 191–198.
8. Федоровский В.Г. Методика расчета фундаментных плит на нелинейно-деформируемом во времени основании/ В.Г. Федоровский, С.Г. Безволев, О.М. Дунаева // Нелинейная механика грунтов: Тр. IV Рос. конф. с иностр. участием.– СПб., 1993.– Т.1.– С. 81–86.
9. Шашкин К.Г. Расчет напряженно-деформированного состояния основания фундаментов и здания с учетом их взаимодействия / К.Г. Шашкин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2003. – №4. – С. 15–25.
10. . Пат. 13794 Україна, МПК 6 Е 02D 27/00. Фундамент будівлі, споруди: 13794 Україна, МПК 6 Е 02D 27/00 Тімченко Р.О (Україна). – № u 2005 10214; Заявл. 31.10.2005; Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. – 6 с.
11. Тімченко Р.О. Проектування і розрахунків урівноважуючих плитних фундаментів: Навч. посібн. для студентів будівельних спеціальностей. – Кривий Ріг, Мінерал, 2005. – 82 с
12. Тимченко Р.А. Работа плитных фундаментов-саморегуляторов (ПФС) на неравномерно-деформируемом основании /Р.А.Тимченко, Д.А. Кришко// Современные проблемы строительства. – Донецк, 2010. – № 9. С. 173-177.