

В то же время общий вид характеристики воздействия – первоначальный рост, затем практически симметричный переход в отрицательную зону и в конце – колебательное восстановление в состояние близкое к исходному. Можно говорить о том, что схожие по фармакокинетическим свойствам препараты формируют сходные характеристики (в данном случае препараты вызывают временный рост кровяного давления).

Помимо приведенного выше примера получения математической модели подобный подход (обратное свойство свертки) может быть применен для определения времени действия препаратов, даже после того, как визуальные признаки (отклонение значения давления от среднего) уже не будут определяться однозначно.

#### Список литературы

1. Сарычев А., Искандеров Г. Методы идентификации объектов управления на основании результатов активного эксперимента // Материалы XXXI научной конференции по результатам работы ППС. Северо-государственный технический университет. – URL: <http://www.ncstu.ru/Science/conf/past/2001/xxxi/14/19.pdf> (дата обращения: 23.12.2009)
2. Айфичер Эммануил С., Джервис Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. – 2-е изд. ; пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
3. Цибульский В. Р., Сергейчик О. И., Абрамов М. В. Методы получения передаточной функции на основе частотных характеристик ЭКГ // Вестник кибернетики. – 2008. – № 7. – С. 79.
4. Основы физиологии человека. – Т. 1 / под ред. акад. РАМН Б. И.Ткаченко. – 1994. – С. 567.

M. V. Abramov, Tumen State Oil and Gas University

V. R. Tsibulsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Northern Development SB RAS

#### Creation of Complex Mathematical Model of Cardiovascular System Response Using Cardiological Time Series on Basis of Blood Pressure

*The application of pulse transfer characteristics of cardiological time series on basis of blood pressure with use of convolution reversibility is considered. The complex response models of a human and a dog are presented.*

**Key words:** cardiological time series, mathematical model, blood pressure.

УДК 51-74+624.04+519.673

М. Л. Иванов, аспирант, Ижевский государственный технический университет

В. Е. Лялин, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

#### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ПРОБЛЕМЫ ВСТРАИВАНИЯ НОВОГО ЗДАНИЯ В ТЕСНУЮ ГОРОДСКУЮ ЗАСТРОЙКУ

*Рассмотрена вычислительная технология решения проблемы встраивания нового разноэтажного здания в существующую тесную городскую застройку. Данная технология включает в себя: численный анализ проекта фундаментной плиты под новое здание; исследование влияния нового здания на существующие; численные исследования по усилению фундаментов соседних зданий.*

**Ключевые слова:** встраивание здания в застройку, численный анализ, моделирование.

**В** последние годы в густонаселенных городах часто возникает необходимость встраивания нового разноэтажного здания (4–6 этажей) в тесную городскую застройку. При этом необходимо оценивать влияние проектируемого здания на соседние дома, чтобы обеспечить их безопасность, исключив повреждения.

При решении данной проблемы была разработана вычислительная технология, включающая в себя три задачи:

1. Численный анализ проекта фундаментной плиты под новое здание.
2. Исследование влияния нового здания на существующие.
3. Численные исследования по усилению фундаментов соседних зданий.

#### Численный анализ проекта фундаментной плиты под новое здание

Схема нагрузок, действующих на железобетонную фундаментную плиту, представлена на рис. 1. В расчете напряженно-деформированного состояния (НДС) плиты учитывались следующие нагрузки:

- вес здания, передаваемый на фундамент через несущие стены. Нагрузки прикладывались к линиям, конфигурация которых повторяет планировку подвального помещения жилого дома;
- вес слоя грунта высотой 2 м, лежащего над областями фундаментной плиты, расположенными вне контура внешних стен здания, прикладывается как равномерно распределенная поверхностная нагрузка;
- собственный вес фундамента.

Задача определения напряженно-деформированного состояния системы «фундаментная плита – основание» под действием нагрузки от нового дома решалась в линейно-упругой постановке методом конечных элементов. Для дискретизации трехмерных областей (фундамент, основание) применялись объемные восьмиузловые конечные элементы первого порядка шести- и пятигранной конфигурации. Расчетная схема задачи изображена на рис. 2.

Рассматривалось четыре слоя основания разной толщины с осредненными свойствами, полученными по результатам инженерно-геологических изысканий. Данные сведены в табл. 1, нумерация

слоев соответствует нумерации на расчетной схеме рис. 2.

В соответствии с рекомендациями СНиП общая толщина слоя грунта определялась по формуле [1]  $H = 9 + 0,15B$  (для глинистых оснований), где  $B$  – опорная ширина конструкции плиты, и составила 10 м.

Материал плиты – бетон класса В15, армированный в продольном и поперечном направлениях арматурой класса А400 диаметром 14 мм с шагом 30 см. Сетка укладывается в верхней и нижней зонах с защитным слоем бетона 30 мм. Механические свойства бетона и арматуры приведены в табл. 2.

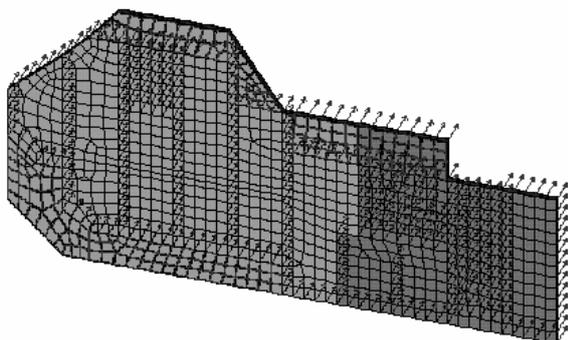


Рис. 1. Схема нагружения фундаментной плиты

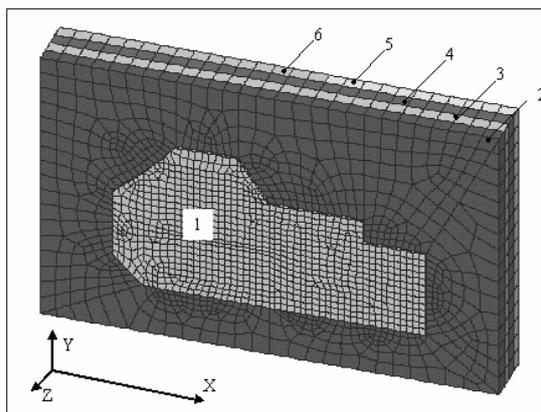


Рис. 2. Расчетная схема фундаментной плиты на упругом основании

Таблица 1. Свойства основания

Номер слоя	Вид грунта	Нормативный модуль деформаций, $E_0$ , МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность $kg/m^3$
2	Суглинок	4,9	0,42	1950
3	Глина мягкопластичная	7,5	0,42	2000
4	Глина тугопластичная	17	0,42	2000
5	Суглинок	7,7	0,42	2000
6	Глина	19	0,42	2000

Таблица 2. Свойства бетона и армирующей стали

Свойства	Начальный модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Расчетное сопротивление на растяжение, МПа	Расчетное сопротивление на сжатие, МПа	Плотность, $kg/m^3$
Бетон	23000	0,22	0,75	8,5	2400
Арматура	200000	0,28	365	365	7800

Для расчета плита по толщине разбита на три слоя с разными свойствами, которые разбивались на объемные конечные элементы первого порядка. Толщина внешних (армированных) слоев равна удвоенной глубине укладки арматуры (по 60 мм каждый). Средний слой – без арматуры. Это позволяет учитывать направление, объемное содержание и механические свойства арматуры.

На рис. 3–6 изображены компоненты тензора напряжений на наружных поверхностях фундамента. Направления осей координат показаны на рис. 2.

Как видно из приведенных рисунков, наибольшие растягивающие напряжения возникают на нижней поверхности фундамента и достигают 9,5 МПа, что больше нормативного сопротивления бетона растя-

жению ( $R_{bt,n} = 1,15$  МПа) и может привести к образованию трещин.

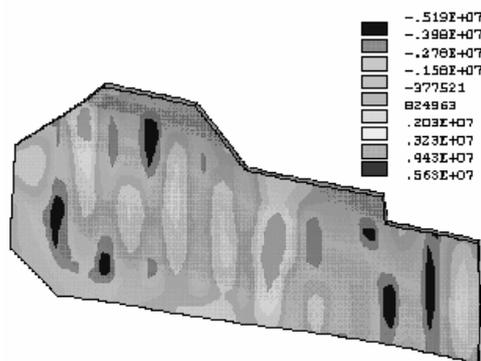


Рис. 3. Напряжения  $\sigma_x$  на верхней поверхности плиты, Па

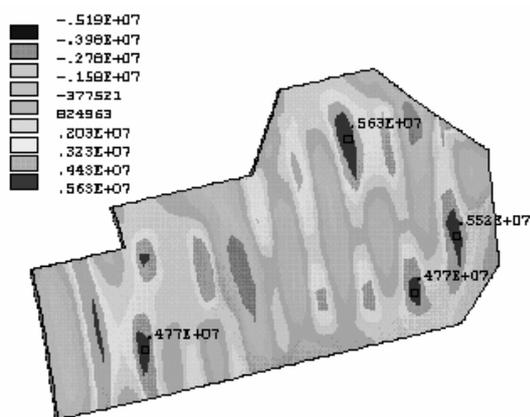


Рис. 4. Напряжения  $\sigma_x$  на нижней поверхности плиты, Па

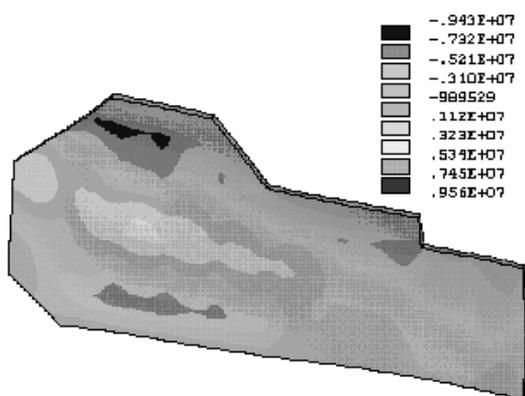


Рис. 5. Напряжения  $\sigma_y$  на верхней поверхности плиты, Па

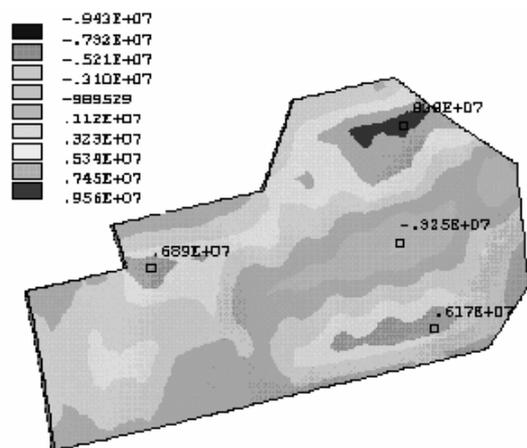


Рис. 6. Напряжения  $\sigma_y$  на нижней поверхности плиты, Па

Напряжения в арматуре получены при линейно-упругом расчете и показаны. Максимальные напряжения равны 60 МПа и не превышают расчетного сопротивления арматуры (см. табл. 2).

Раскрытие трещин в бетонном фундаменте. Наибольшие растягивающие напряжения возникают на нижней поверхности фундаментной плиты и достигают 9,5 МПа. Это больше нормативного сопротивления бетона растяжению ( $R_{bt,n} = 1,15$  МПа) и может привести к образованию трещин. Поэтому был выполнен нелинейный расчет, учитывающий упруго-

хрупкое разрушение бетона, который показал наличие трещин в наиболее опасных зонах.

Наличие трещин в железобетонных конструкциях фундамента допускается, но регламентируется ширина их раскрытия  $a_{crc}$ , поэтому был выполнен расчет по формуле [2]

$$a_{crc} = (\text{sign}(\sigma_s)/E_s) \cdot 20 \cdot (3.5 - 100\mu)^{\frac{2}{3}} \sqrt{d}, \text{ мм},$$

где  $\sigma_s$  – растягивающее напряжение в арматуре;  $E_s$  – модуль упругости арматуры;  $\mu$  – коэффициент армирования;  $d$  – диаметр арматуры, мм;  $\text{sign}(\sigma_s) = \begin{cases} \sigma_s, & \sigma_s \geq 0, \\ 0, & \sigma_s < 0. \end{cases}$

Результаты расчета ширины раскрытия трещин на верхней и нижней поверхностях плиты представлены на рис. 7–10.

Максимальная величина ширины раскрытия трещины составляет 0,05 мм, что приблизительно в 8 раз меньше предельного значения 0,4 мм [2].

Таким образом, проведенные исследования НДС фундаментной плиты совместно с грунтовым основанием позволили рекомендовать в качестве фундамента под новое здание монолитную железобетонную плиту толщиной 300 мм из бетона класса В15, армированную сетками с шагом стержней 300 мм в верхней и нижней зонах и с защитным слоем 30 мм (арматура диаметром 14 мм класса А-400).

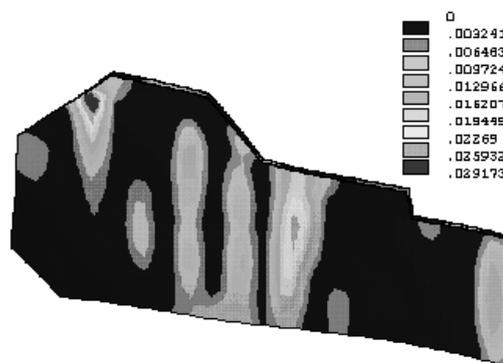


Рис. 7. Величина раскрытия трещин в направлении x на верхней поверхности плиты, мм

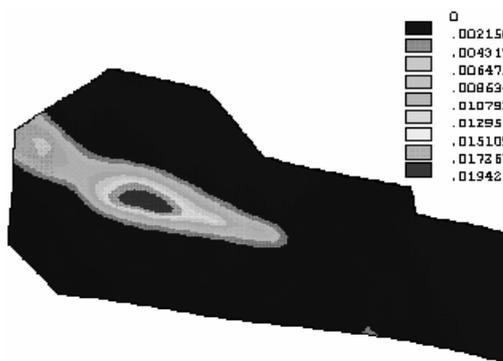


Рис. 8. Величина раскрытия трещин в направлении y на верхней поверхности плиты, мм

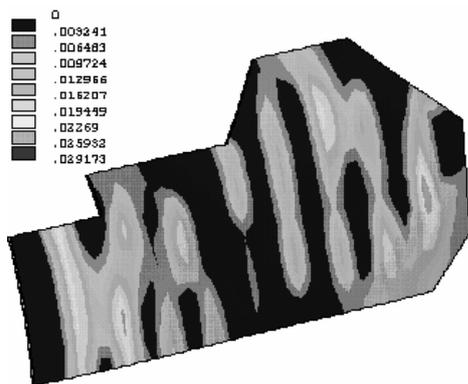


Рис. 9. Величина раскрытия трещин в направлении *x* на нижней поверхности плиты, мм

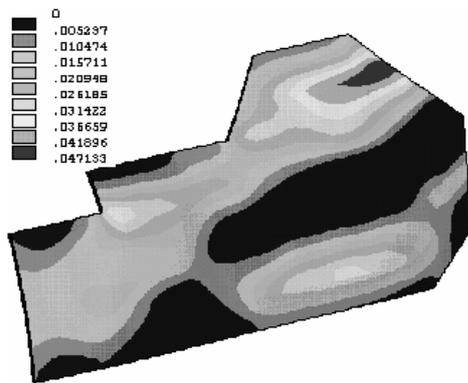


Рис. 10. Величина раскрытия трещин в направлении *y* на нижней поверхности плиты, мм

При расчете по методике, рекомендованной СНиП [2], толщина плиты получалась  $\approx 700$  мм.

**Исследование влияния нового здания на существующие**

Результаты расчета перемещений основания на уровне нижней грани фундаментной плиты под плитой и в соседних областях показали, что осадка основания:

- «затухает» на расстоянии приблизительно 1,5–2,5 м от края плиты;
- оказывает влияние на соседние дома: трехэтажный дом, непосредственно примыкающий к проектируемому зданию, и пятиэтажный дом, расположенный под углом;
- не оказывает практически никакого влияния на дома, находящиеся через дорогу.

Для оценки влияния ожидаемой осадки проектируемого здания на соседние дома по данным инженерно-геологических изысканий математическими зависимостями смоделировано 5 слоев грунта, захватывающих массив основания размерами 150×150×12,4 м. Фундаментная плита была смоделирована поверхностными элементами (т. е. жесткость плиты не учитывалась), и на нее была приложена равномерно распределенная нагрузка, включающая в себя вес здания, вес фундаментной плиты ( $\delta = 0,3$  м) и вес слоя грунта, лежащего над областями фундаментной плиты вне контура внешних стен здания.

На боковых гранях массива грунта задавались граничные условия в перемещениях, т. е. запрет перемещений в направлении нормали к соответствующей грани и жесткая заделка нижней плоскости.

Процесс решения в связи с большим объемом (система порядка 100 тысяч уравнений) был разделен на две части, т. е. влияние ожидаемой осадки нового здания рассматривалось отдельно на трехэтажное здание (рис. 11) и на пятиэтажное здание (рис. 12).

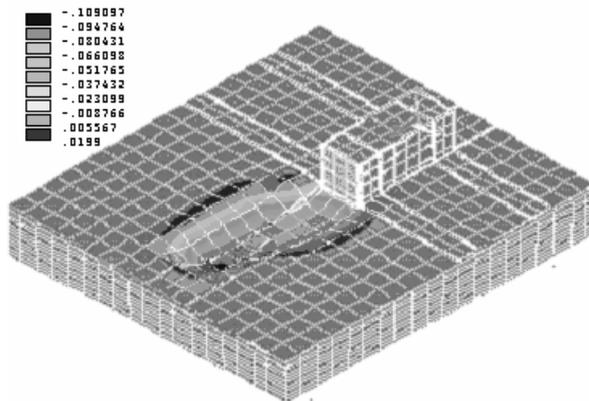


Рис. 11. Влияние нового дома на трехэтажное здание

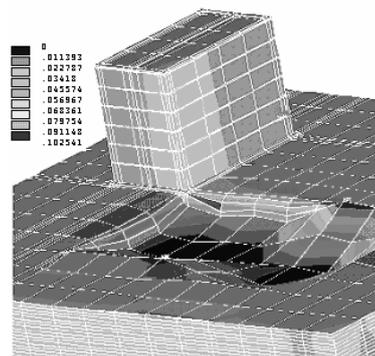


Рис. 12. Влияние нового дома на пятиэтажное здание

Осадки существующего трехэтажного здания на уровне фундаментной плиты показаны на рис. 13. Максимальное значение осадки примыкающей стены трехэтажного здания равно  $\approx 3$  см, но практически полностью затухает на расстоянии 3–5 м от края здания.

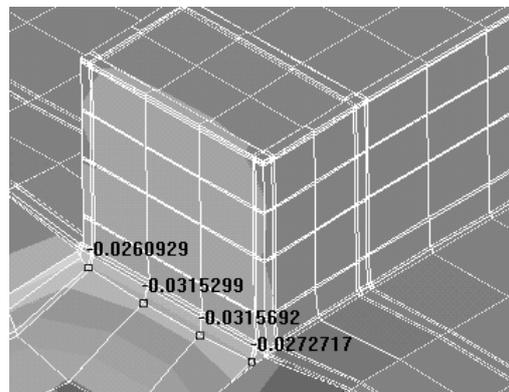


Рис. 13. Осадки на уровне фундаментной плиты трехэтажного здания

Максимальная осадка ближнего угла пятиэтажного здания достигает 2 см и практически сразу затухает до нуля (рис. 14). Полностью влияние осадки проектируемого здания затухает на расстоянии порядка 30 м от края проектируемой плиты, но влияние это незначительно и его можно не учитывать, начиная с расстояния 5 м от края плиты.

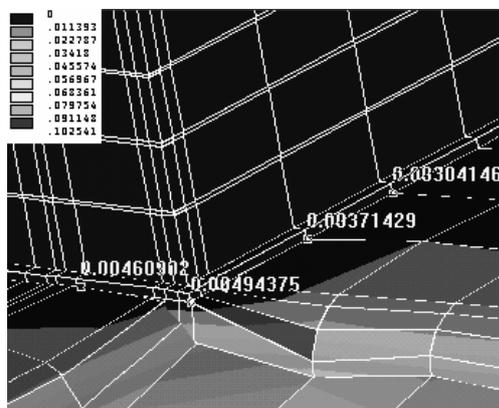


Рис. 14. Осадки на уровне фундаментной плиты пятиэтажного здания

#### Численные исследования по усилению фундаментов соседних зданий

Проведенные расчеты показали, что максимальные растягивающие напряжения в фундаменте существующего трехэтажного здания достигают величины  $\approx 3$  МПа. Нормативная прочность бетона на растяжение класса В7.5 при этом составляет 0,7 МПа.

Если в наружных несущих стенах здания есть значительные трещины, то следует усилить фундамент трехэтажного здания плитой. Был смоделирован фундамент существующего трехэтажного здания и железобетонная плита усиления толщиной 300 мм из бетона класса В15 с арматурой класса А400  $d = 12$  мм, заделанная в существующий фундамент. Расчетная схема плиты усиления показана на рис. 15.

Результаты расчета здания с плитой усиления фундамента показали перераспределение и снижение напряжений в фундаменте примерно в 3 раза по сравнению с существующим, а также выравнивание и уменьшение осадок в 3,75 раза (до 8 мм) (см. рис. 16). Расчет производился без учета поддерживающего эффекта проектируемого здания.

Результаты расчета пятиэтажного здания показали, что наибольшую опасность с точки зрения проч-

ности представляет угол здания, который необходимо усилить. Предложено усиление железобетонной обоймой из бетона класса В15 с арматурой класса А-400 диаметром 12 мм, что и было выполнено в соответствии с рекомендациями.

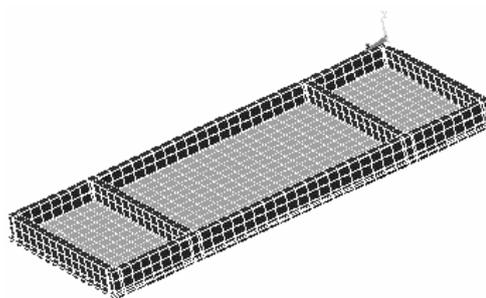


Рис. 15. Плита усиления фундамента трехэтажного здания

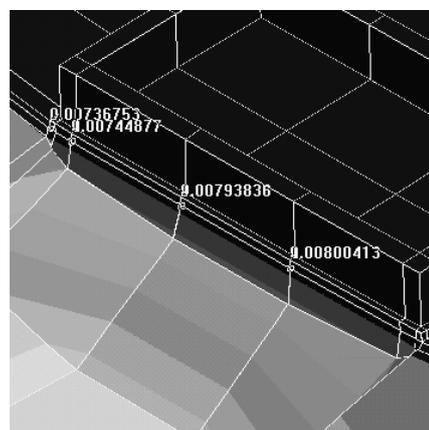


Рис. 16. Осадки в фундаментной плите усиления трехэтажного здания

Результаты численных экспериментов по данному проекту и методические материалы могут позволить обеспечить безопасность существующих зданий, снизить материалоемкость строительных конструкций, повысить технологическую эффективность при реализации проектных решений.

#### Список литературы

1. Горбунов-Пассадов М. И., Маликова Т. А., Соломин В. И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. – 679 с.
2. СНиП 2.01.03–84\*. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования.

M. L. Ivanov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

V. E. Lyalin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

#### Computer-Oriented Technology of Analysis of a New Building Imbedding into a Tight Urban Development

The computer-oriented technology of analysis of a new building imbedding into an existing city building system is considered. This technology includes: the numerical analysis of the project of a base plate under a new building; investigation of the new building influence on the existing city building system; numerical study of strengthening of the neighbouring buildings basement.

**Key words:** building embedding into urban development, numerical analysis, modeling.