

*The article discusses the possible cases of paper tape distortions. Main requirements to the method of controlling the distortions and to devices of their eliminations are stated. The hardware implementation of a device for determining and eliminating the interferences appearing when scanning logs on paper tape is proposed. The method for determining the coefficient of paper tape expansion is stated based on recognition of control lines on the scanned image.*

**Key words:** scanned image, well log, paper tape, tape distortion, scanning interference.

УДК 539.3+622.83+519.682.6

**В. И. Данилов**, ГУССТ № 8 при Спецстрое России, Ижевск

**В. Е. Лялин**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ БЕЗОПАСНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СТРОЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗВИТИЯ КАРСТА, ПРИ УСЛОВИИ ПРИСТРАИВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ

*Рассмотрено имитационное моделирование проектов безопасной реконструкции существующих строений, расположенных на территориях развития карста. Определены дополнительные осадки грунта и изменения напряженно-деформированного состояния фундамента и строения от возводимых пристроек. Благодаря численным исследованиям было выяснено, что можно решить 3-мерную проективную задачу, посвященную безопасной реконструкции, а также надстройке реально построенного сооружения на закарстованной территории, учитывая, что карстовые воронки выходят на поверхность, и дополнительно было предложено несколько вариантов для укрепления конструкции данного сооружения.*

**Ключевые слова:** реконструкция строений, безопасность строений, пристраивание, карсты.

**М**атематическое моделирование с применением численных методов и ЭВМ является одним из наиболее эффективных способов (а во многих ситуациях – единственно возможным) установить действительный характер работы конструкций, зданий и сооружений [1, 2, 6] и позволяет путем относительно невысоких затрат детально исследовать работу самых сложных сооружений, находящихся в разнообразных условиях эксплуатации и внешних воздействий.

### Описание проблемы

Во время разработки проекта для реконструкции 2-этажного сооружения из кирпича, которое по плану нужно было а) надстроить мансардой, б) с одной стороны сооружения дополнить лестничной клеткой, в) пристроить здание с другой стороны, нужно было изучить, как данные постройки могут повлиять на уже заложённый фундамент и само здание, а также взять в расчет возможность того, что выйдут на поверхность карстовые воронки, а значит, сделать реконструкцию на закарстованной территории безопасной.

Чтобы решить все эти задачи, были выделены три главных пункта улучшения.

1. Нужно определить дополнительные осадки из-за сооружений, которые предполагается пристроить (мансарда, лестничная клетка и пристрой), а также провести анализ напряженно-деформированного состояния сооружения и его фундамента.

2. Необходимо также проанализировать напряженно-деформированное состояние сооружения и его фундамента от пристраиваемых конструкций, учитывая возникновение карстовых воронок.

3. Также необходимо численно проанализировать конструкции усиления данного сооружения.

*Определить дополнительные осадки из-за сооружений, которые предполагается пристроить, а также провести анализ напряженно-деформированного состояния сооружения и его фундамента.*

В расчетную схему включены коробка здания, фундамент и основание. Размеры здания в плане 12×32 м. Здание кирпичное, 2-этажное, в хорошем состоянии. Физико-механические характеристики кирпичной кладки приведены в табл. 1. Фундамент ленточный, монолитный железобетон, армированный стальными бурильными трубами марки БК, термообработанными группы прочности Д, с наружным диаметром 146 мм и толщиной стенки 9 мм (см. табл. 1).

Пространственная конечно-элементная модель системы «здание – фундамент – основание» (рис. 1, 2) была создана с использованием разработанной программы для базовой математической модели прочностного анализа системы ЗФО без включения оконных и дверных проемов. Использовались объемные 8-узловые элементы первого порядка шести- и пятигранной конфигурации.

Основание, в соответствии с результатами инженерно-геологических изысканий, имеет неоднородную структуру и в части длины и ширины сооружения, и в части глубины (см. рис. 1 и табл. 2). Номера на рис. 1 соответствуют номерам слоев в табл. 2.

По данным инженерно-геологических изысканий, математическими зависимостями смоделировано 3 слоя грунта, захватывающих блок основания размерами 150×150×12,4 м, с усредненными свойствами, которые приведены в табл. 2. На гранях объема ос-

нования заданы граничные условия в перемещениях, т. е. запрет перемещений в направлении нормали

к соответствующей грани и жесткое закрепление нижней поверхности.

Таблица 1. Физико-механические свойства материалов

Свойства	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Расчетное сопротивление растяжению, МПа	Расчетное сопротивление сжатию, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Кирпичная кладка	720	0,25	0,021	0,9	1800
Бетон	23500	0,22	0,75	8,5	2800
Арматура	200000	0,28	365	365	7800
Арматура трубы	210000	0,30	365	365	7660

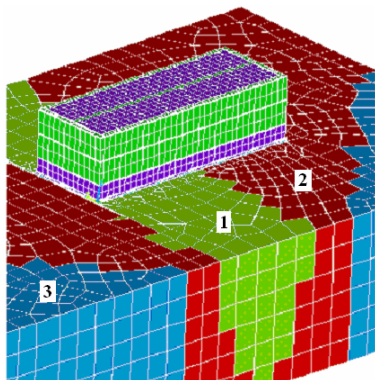


Рис. 1. Компьютерная модель существующего 2-этажного здания

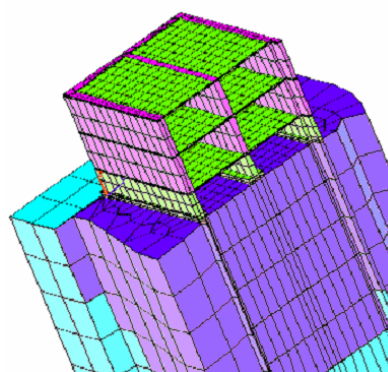


Рис. 2. Разрез сооружения

Таблица 2. Свойства основания

Номер слоя	Вид грунта	Нормативный модуль деформаций, $E_0$ , МПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	Суглинок 1	9,1	0,35	1950
2	Суглинок 2	13,2	0,35	2000
3	Суглинок 3	14,8	0,35	2000

Для оценки осадки существующего здания к наружным несущим стенам прикладывалась нагрузка от веса мансарды (17,4 т/м). Пристрой и лестничная клетка были смоделированы поверхностными элементами (т. е. жесткость фундаментных плит не учитывалась), и к ним были приложены равномерно распределенная нагрузка, включающая в себя вес пристроя 22×12 м – 5 т/м<sup>2</sup>, вес лестничной клетки 3×6 м – 13,7 т/м<sup>2</sup> и вес фундаментных плит соответственно.

Весь представленный ниже расчетный материал получен в линейно-упругой постановке. Материал основания и стен принимался изотропным. Материал фундаментной плиты – анизотропный с эффективными упругими характеристиками, полученными с учетом направления, свойств и объемного содержания арматуры.

По результатам расчетов, дополнительные осадки здания после возведения мансарды, пристроя и лестницы составили 2,61 см (рис. 3, 4), что меньше нормативного значения (10 см) [3].

В несущих стенах здания максимальные растягивающие напряжения не превышают 0,0203 МПа, что соответствует работе кирпичной кладки в линейно-упругой области.

Однако в фундаменте сооружения, если даже не учитывается выход на поверхность карстовых воронок, по направлению вдоль оси у появляются растягивающие напряжения (максимальные – 0,855 МПа) (рис. 5), превышающие расчетное сопротивление

бетона растяжению. Это вызвано двумя причинами:

- влиянием дополнительных осадок от пристроя;
- тем, что надстраиваемая мансарда опирается только на наружные продольные стены, что вызывает дополнительный изгиб и, соответственно, напряжения в торцах здания.

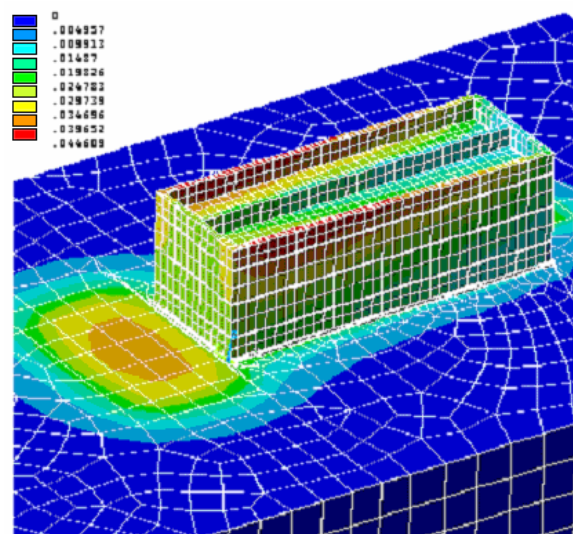


Рис. 3. Значения дополнительных осадок, которые возникают после того, как возвели мансарду, пристрой и лестничную клетку

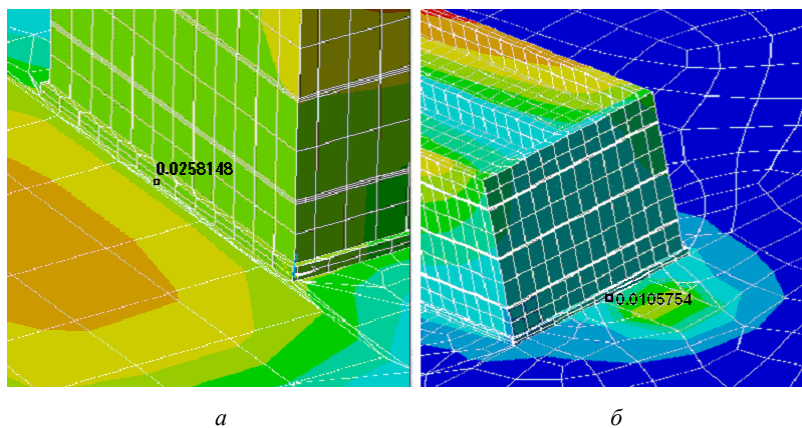


Рис. 4. Значения максимальных дополнительных осадок, которые возникают после того, как возвели мансарду, пристрой и лестничную клетку: а – со стороны пристрой; б – со стороны лестничной клетки

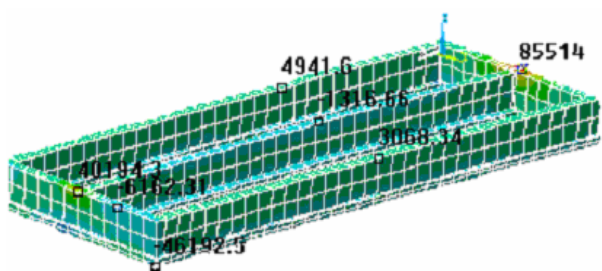


Рис. 5. Распределение напряжений в фундаменте после возведения мансарды, пристрой и лестничной клетки, в направлении оси у

лее опасном месте – угол здания (в месте примыкания к пристрою), вторая – в центре под фундаментом существующего здания.



Рис. 6. Схема образования карстовых воронок под фундаментом

Необходимо проанализировать напряженно-деформированное состояние сооружения и его фундамента от пристраиваемых конструкций, беря в расчет возникновение карстовых воронок.

В соответствии с проведенными инженерно-геологическими изысканиями и рекомендациями заказчиков при проведении расчетов существующего 2-этажного кирпичного здания необходимо взять в расчет, что могут выйти на поверхность карстовые воронки диаметром до 4,6 м.

Было смоделировано появление двух карстовых воронок, наиболее неблагоприятное расположение которых изображено на схеме рис. 6. Одна в наиболее

Как показал расчет, запас прочности фундамента достаточен, чтобы выдержать появление карстовой воронки в центральной части здания, но карст под углом в месте примыкания пристроя крайне опасен. Дополнительные осадки после появления воронок невелики и не превышают значения 4 см, что меньше предельного значения 10 см. Но растягивающие напряжения в бетоне фундамента составляют 3,54 МПа по оси *x* и 4,97 МПа по оси *y* (мансарда, пристрой) (рис. 7), что превышает предельные значения (0,9 МПа).

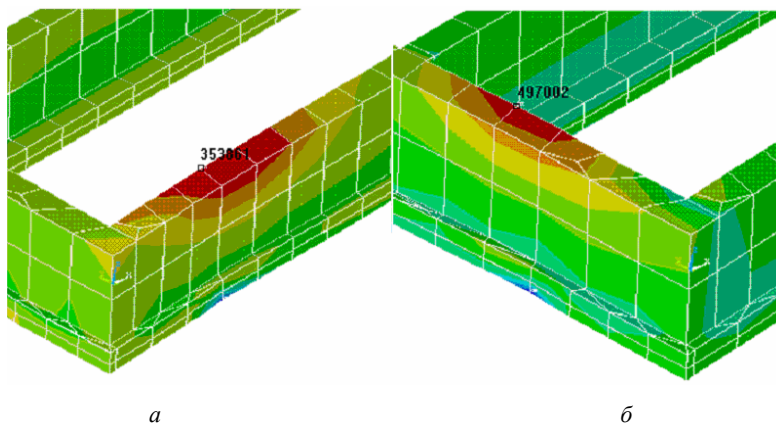


Рис. 7. Максимальные значения напряжений в фундаменте после образования карстовых воронок (с учетом мансарды и пристроев): а – по направлению оси *x*; б – по направлению оси *y*

Напряжения в кирпичной кладке стены по осям  $x$  и  $y$  не превысят предельных значений при условии отсутствия трещин в бетоне.

#### Численный анализ конструкции усиления существующего здания

Учитывая полученные результаты, а также то, что невозможно точно предсказать место выхода карстовой воронки на поверхность, было принято решение усилить существующий фундамент. Дополнительной причиной принятия такого решения являлось то, что проект надстройки мансарды с опиранием только на наружные несущие стены и одновременное возведение пристроев по обеим сторонам здания могут вызвать дополнительные растягивающие напряжения в торцевых стенах здания.

В результате проведенных численных экспериментов был предложен вариант усиления железобетонным каркасом с шагом 3 м и шириной ребра 1 м (рис. 8).

Выбор такого варианта усиления по сравнению с традиционной сплошной плитой усиления обусловлен тем, что даже в наихудшей ситуации плита будет работать лишь на 10 % ее площади. Каркас же будет задействован  $\approx$  на 30 % и позволит перераспределить напряжения с торцевой части здания. Кроме того,

сооружение каркаса потребует меньших затрат рабочего времени и меньшего расхода материалов

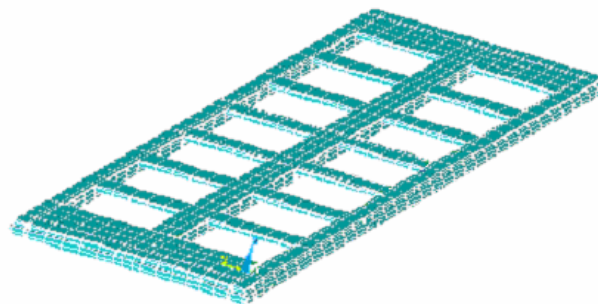


Рис. 8. Железобетонный каркас усиления фундамента

Результаты численных расчетов показали, что возникающие растягивающие напряжения полностью воспринимаются арматурой. Максимальные напряжения в арматуре каркаса усиления значительно ниже предельных (рис. 9). Перераспределение напряжений позволит снизить усилия в торцевых стенах более чем в два раза. Трещины в бетоне после первоначального раскрытия и перераспределения напряжений на арматуру полностью закрываются.

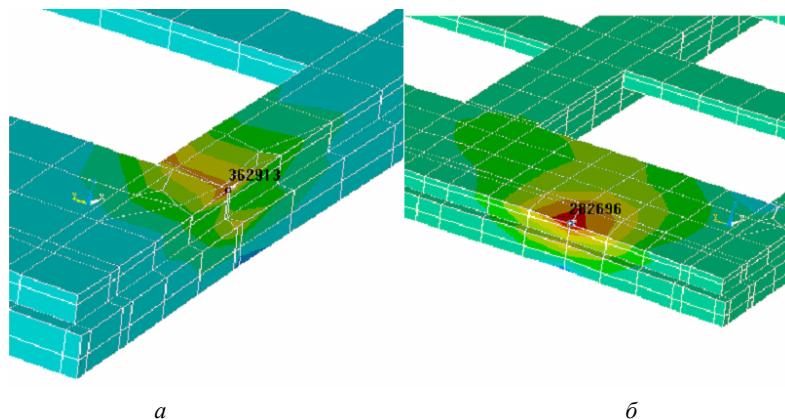


Рис. 9. Максимальные значения напряжений в каркасе усиления фундамента (с учетом карстовых воронок, мансарды и пристроев): а – по направлению оси  $x$ ; б – по направлению оси  $y$

С помощью численных исследований выявлена вероятность того, что можно решить 3-мерную проектировочную задачу, посвященную безопасной реконструкции на закарстованной территории, учитывая, что карстовые воронки выходят на поверхность. Дополнительно было предложено несколько вариантов для укрепления конструкции сооружения.

#### Библиографические ссылки

1. *Маковецкий О. А.* Оценка и прогнозирование надежности систем «основание – фундамент – здание». – Пермь, 2005. – 331 с.
2. *Алейников С. М.* Метод граничных элементов в контактных задачах для упругих пространственно неоднородных оснований. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 754 с.
3. *Бартоломей Л. А.* Прогноз осадок сооружений с учетом совместной работы основания, фундамента и надземных конструкций. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 1999. – 147 с.

4. *Юшков Б. С., Добрынин А. О.* Определение величины выпора куста из двуконусных свай силами морозного пучения в полевых условиях // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 12(16). – С. 23–37.
5. *Зубенко В. Л., Емельянова И. В., Емельянов Н. В.* Методика применения САД/САМ/САЕ-систем в научных исследованиях // Приволжский научный вестник. – 2013. – № 2(18). – С. 18–23.
6. *Корнилов Д. Ю., Гурьянова А. С.* Применение метода свободного высоконагруженного удара для улучшения прочностных характеристик силикатных строительных материалов // Приволжский научный вестник – 2011. – № 2. – С. 5–7.
7. *Муравьев К. А.* Методики оценки трещиностойкости конструкционных сталей // Приволжский научный вестник – 2012. – № 3(7). – С. 18–27.
8. *Елисеев В. Н., Телегина М. В.* Особенности моделирования взаимосвязи пространственных данных различного характера // Приволжский научный вестник – 2012. – № 5(9). – С. 13–15.

V. I. Danilov, Main department of special construction in Ural region No. 8 of Russia Federal Agency of Special Construction  
V. E. Lyalin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Modeling the Projects of Safe Reconstruction of Existing Buildings Located in Areas of Karst Development within Structure Annexing

*Imitation simulation of projects of safe reconstruction of existing structures located in areas of karst development is considered. Additional soil settlement and variation of the stress-strain state of the foundation and the building due to structure annexing are determined. Numerical studies revealed the possibility to solve the three-dimensional engineering design problem of the safe reconstruction of the existing building and annexing the real building at the karst area with account of the surface exposure of sinkholes. Several design options to strengthen the structure of the existing building were additionally proposed.*

**Key words:** reconstruction of buildings, safety of buildings, annexing, sinkholes.

УДК 658.382

**Б. В. Севастьянов**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**Р. О. Шадрин**, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАВМАТИЗМА И ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

*Изложен порядок анализа и прогнозирования показателей травматизма и профессиональных заболеваний с использованием методов математической статистики и моделирования.*

**Ключевые слова:** охрана труда, математическое моделирование, статистика травматизма.

Действующие в настоящее время в России стандарты по управлению охраной труда [1–4] ориентируют все организации на количественную оценку имеющихся профессиональных рисков и их снижение или устранение. Применяемые методики дают противоречивые результаты [5] и в большинстве являются достаточно субъективными. Это ставит практических работников в сложное положение, сдерживает внедрение в полном объеме систем управления охраной труда [6].

По мнению авторов, при разработке программ снижения профессиональных рисков необходимо ориентироваться не только на установленные методики, но также использовать методы математической статистики и моделирования, позволяющие получить прогнозные значения показателей травматизма и профессиональных заболеваний, необходимых для объективного планирования мероприятий по охране труда.

Основным предложением в прогнозировании показателей травматизма и профессиональных заболеваний является использование не только данных по этим показателям за предыдущие годы, но и значения показателей социально-экономического развития рассматриваемого региона или предприятия. При прогнозировании травматизма в Удмуртской Республике [7–9] использовались такие показатели, как количество обученных по 40-часовой программе по охране труда, количество инвестиций в основной капитал, валовой региональный продукт, доля работников, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, и средства, израсходованные на мероприятия по охране труда в расчете

на одного работающего. Использование указанных показателей позволяет связать травматизм не только с состоянием безопасности труда в изучаемом объекте, но и с уровнем социально-экономического развития, то есть представить травматизм как составляющую экономического процесса.

При моделировании экономических процессов встречаются 2 типа данных:

- пространственные данные (cross-sectional data);
- временные ряды (time-series data).

Примером пространственных данных является, например, набор сведений по разным предприятиям в один и тот же момент времени (пространственный срез). Примерами временных рядов могут быть ежеквартальные данные частоты несчастных случаев. Отличительной чертой временных рядов является то, что они естественным образом упорядочены по времени, кроме того, наблюдения в близкие моменты времени часто бывают зависимыми.

Можно выделить три основных типа моделей в эконометрике, применяемых для анализа и/или прогноза.

Модели временных рядов. К этому классу относятся модели:

$$- \text{тренда: } y(t) = T(t) + \varepsilon_t,$$

где  $T(t)$  – временной тренд заданного параметрического вида (например, линейный  $T(t) = a + bt$ ),  $\varepsilon_t$  – случайная (стохастическая) компонента;

$$- \text{сезонности: } y(t) = S(t) + \varepsilon_t,$$

где  $S(t)$  – периодическая (сезонная) компонента,  $\varepsilon_t$  – случайная (стохастическая) компонента;