

3. *Winters P. R.* Forecasting sales by exponentially weighted moving averages // *Management Science*. – 1960. – Vol. 6. – No. 3.

4. *Holt C. C.* Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages // O.N.R. Memorandum, Carnegie Inst. of Technology. – 1957. – No. 2.

5. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.

6. *Баклашов И. В., Скворцов А. А.* Разработка метода расчета деформированного состояния грунтового массива при подработке.

7. *Четыркин Е. М.* Статистические методы прогнозирования. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

8. *Федосеев В. В., Гармаш А. Н., Орлова И. В.* Экономико-математические методы и прикладные модели: учебник для бакалавров. – М.: Юрайт, 2012. – 328 с.

9. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского

месторождения калийных солей (технологический регламент).

10. *Кашеварова Г. Г., Воробьев А. В.* Численный анализ возможности сохранения жилых панельных зданий на подработанной территории // Актуальные проблемы комплексного моделирования конструкций и сооружений: Тез. докл. IV Междунар. симпозиума (Россия, г. Челябинск). – Изд. центр ЮУрГУ. – С. 77–79.

11. Программные средства для геотехнических расчетов / А. Г. Калинин, П. А. Калинин, С. А. Чернопазов, И. Л. Гладков, А. В. Воробьев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2008. – № 1. – С. 11–14.

12. *Кашеварова Г. Г., Сон М. П., Воробьев А. В.* Определение предельно допустимых деформаций панельных зданий, эксплуатируемых на подработанной территории // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: Материалы Рос. конф. с междунар. участием (22-23 мая 2012 г., г. Уфа). – С. 51–55.

*A. V. Vorobyev*, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

### Adaptive Models for Short-Range Statistical Forecast of Surface Subsidence at Undermined Areas

*The paper presents the results of short-term forecast of the value of surface subsidence according to monitoring data for undermined areas of Perm region, which are obtained using adaptive statistical models of Brown and Holt.*

**Key words:** adaptive forecast model, short-range forecast, Brown's model, Holt's model, undermined area, surface subsidence, monitoring, displacement trough, finite-element method.

УДК 624.03

**Г. Г. Кашеварова**, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**А. В. Воробьев**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**И. Н. Фаизов**, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖИЛЫХ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ПОДРАБОТАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Рассматриваются жилые панельные пятиэтажные здания типовой серии 1-468А, находящиеся в потенциально опасной зоне сдвижения земной поверхности. Для оценки несущей способности зданий и прогнозирования развития процесса деформирования применялось численное моделирование и программный комплекс ANSYS. В результате проведенных вычислительных экспериментов выявлены наиболее нагруженные стыки панелей и перекрытий в зависимости от расположения здания относительно мульды сдвижения.*

**Ключевые слова:** горные работы, жилая застройка, мульда сдвижения, панельные здания, напряжения, метод конечных элементов, адаптивная модель прогнозирования.

**В** Пермском крае в потенциально опасной зоне влияния горных работ на подработанной территории оказалась жилая и промышленная застройка. Большую часть жилой застройки составляют дома панельной конструкции. Неравномерное оседание земной поверхности приводит к возникновению дефектов и повреждений в несущих и ограждающих конструкциях зданий.

При сдвижении земной поверхности основными показателями, позволяющими прогнозировать и оценивать состояние зданий и сооружений, являются: оседание земной поверхности  $\eta$ , радиус кривизны  $R$  и горизонтальные деформации земной поверхности  $\varepsilon$

в основаниях зданий. Механическая безопасность и эксплуатационная пригодность отдельного здания зависят от его расположения относительно мульды сдвижения.

В зданиях с кирпичными стенами наиболее типичными дефектами являются трещины, характер которых соответствует форме деформаций земной поверхности [1]. В панельных зданиях такую закономерность проследить сложно. В ходе многолетнего мониторинга и обследования технического состояния жилых зданий установлено, что основная доля усилий при неравномерном оседании таких зданий приходится на металлические закладные де-

тали, соединяемые между собой сварными швами. В эксплуатируемом здании визуально оценить техническое состояние узлов чрезвычайно сложно. Косвенными признаками, свидетельствующими о неравномерной деформации панельного здания, являются раскрытие деформационных швов и стыков между панелями.

Рассматриваются жилые панельные пятиэтажные здания типовой серии 1-468А, построенные в 60-х гг. XX века. Конструктивная схема здания бескаркасная с поперечными несущими стенами и наружными самонесущими панелями. Лестничные марши и площадки сборные железобетонные. Пространственная жесткость и геометрическая неизменяемость зданий обеспечивается продольными вертикальными диафрагмами жесткости, жесткостью поперечных стен и дисков перекрытий.

В режиме реального времени проводился мониторинг для определения характера и динамики развития деформаций здания, выявления наиболее опасных мест и узлов, оценки развития повреждений и принятия соответствующих мер по проведению срочных противоаварийных мероприятий [2]. Отмечается общая динамика деформаций наблюдаемых объектов, расположенных на одной площадке, периоды схожих во времени деформаций разных зданий. Выявлено, что находящиеся приблизительно в одинаковых условиях здания деформируются совместно с общими деформациями земной поверхности участка подработанной территории, на котором они расположены. Имеются результаты предварительного детального обследования нескольких зданий, которые показали, что разрушение здания обычно начинается в зонах *растянутых стыков*.

Для оценки несущей способности зданий и прогнозирования развития процесса деформирования применялось численное моделирование и современные программные комплексы. Традиционно для выполнения расчетов реальный физический объект заменяется некоторой аппроксимирующей (расчетной) моделью, при этом целесообразно иметь не одну модель, а систему аппроксимирующих моделей [3].

Вначале для приближенной оценки здание рассматривалось как упругий стержень [4]. От кинематического воздействия равномерного растяжения определялось значение критического удлинения здания  $\varepsilon_{cr}$ . Величина  $\varepsilon_{cr}$  не должна быть больше, чем суммарная длина стыков здания (вдоль его оси) умноженная на деформацию стали в момент разрыва (для Ст. 3. она составляет 26 %). При других видах деформирования предельно допустимый прогиб/выгиб здания  $\delta$  можно определить, рассматривая случай, когда в одном из сечений здания-стержня удлинение достигнет величины  $\varepsilon_{cr}$ .

Далее все расчеты выполнялись в конечно-элементном программном комплексе ANSYS, верифицированном в Российской академии архитектуры и строительных наук.

Конструктивная система здания и решение связей между панелями должны обеспечивать надежность

конструкций здания при эксплуатационных и аварийных воздействиях [5, 6], а связи во всех стыках должны обеспечивать восприятие соответствующих расчетных усилий.

Вертикальные стыки между панелями несущих и самонесущих стен должны обеспечивать восприятие усилий сжатия, растяжения и сдвига. Горизонтальные стыки между панелями несущих стен должны обеспечивать восприятие усилий от внецентренного сжатия стены из ее плоскости и изгиба со сдвигом в плоскости стены.

Для изучения напряженно-деформированного состояния конструкции непосредственно в зоне стыка при растяжении и для определения предельного значения перемещения вначале была рассмотрена пространственная модель соединения наружных самонесущих панелей (рис. 1). Панели в стыках соединяются друг с другом арматурой и двумя листовыми накладками. Общая площадь металла соединения в рассматриваемых зданиях составляет  $\approx 15 \text{ см}^2$ . Заполнение стыка бетоном на рисунке условно не показано.

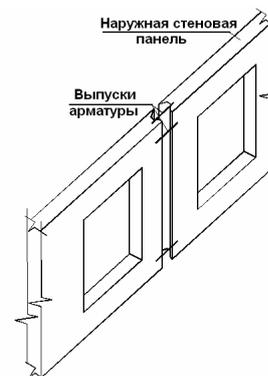


Рис. 1. Зона стыка самонесущих панелей здания

При создании расчетной модели использовались 3-мерные 8-узловые конечные элементы SOLID65, имеющие по три степени свободы в каждом узле. Эти элементы рекомендуется использовать для расчета напряженно-деформированного состояния конструкций, выполненных из неоднородного материала (бетона /железобетона). При этом можно учесть наличие арматуры в бетоне, разнообразные включения в материал, процесс образования и развития трещин при больших или критических нагрузках.

Эффективные характеристики тензора жесткости железобетона определяются как смесь упругих характеристик компонент с учетом их направлений. В арматуре при этом могут возникать пластические деформации. Критерий прочности предусматривает возможность возникновения в элементе разного вида напряженных состояний. Процесс разрушения (трещинообразование) происходит, когда интенсивность напряжений в элементе достигает критического значения. В этом случае материал теряет способность сопротивляться формоизменению, сохраняя способность сопротивляться всестороннему сжатию (если такой вид напряженного состояния возникнет после

перераспределения напряжений и при дальнейшем деформировании).

При моделировании панелей в зоне стыка учитывалось наличие арматуры – стальных стержней диаметром 18 мм – и раствора, хотя обычно бетон в растянутых стыках не учитывается.

Как показали результаты нелинейного расчета, в зависимости от прочностных (предел прочности на растяжение и сжатие) и жесткостных (модуль упругости) физико-механических характеристик железобетона первые трещины в бетоне появляются при растяжении на величину 0,05...0,4 мм. При появлении трещин в зоне стыка происходит перераспределение напряжений в железобетоне, вся нагрузка передается на арматуру, которая и обеспечивает прочность соединения. На рис. 2 и 3 показаны изополю суммарных перемещений и эквивалентных напряжений. Картина трещин показана на рис. 4. Трещины образуются непосредственно по стыку панелей и в углах оконных проемов, что совпадает с данными натурных обследований.

На рис. 5 показаны арматурные выпуски соединения наружных стеновых панелей реального здания после демонтажа.

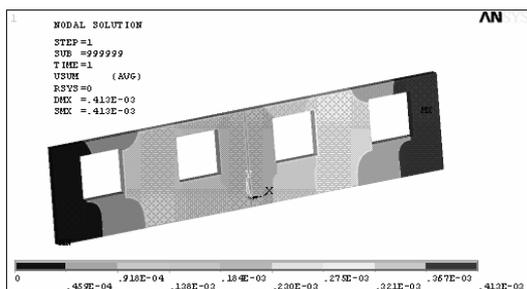


Рис. 2. Изополю суммарных перемещений

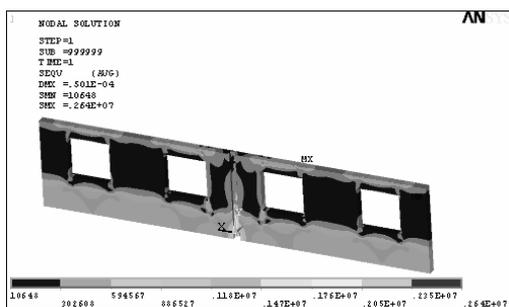


Рис. 3. Изополю интенсивности напряжений

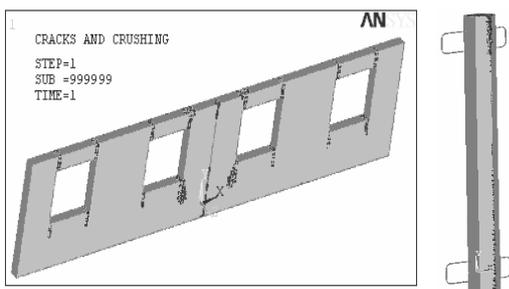


Рис. 4. Картина трещин в панелях и в зоне стыка при растяжении



Рис. 5. Арматурные выпуски для соединения наружных стеновых панелей

Учитывая, что здание состоит из типовых блок-секций, следующая расчетная модель представлена в виде секции-этажа длиной 15 м для определения местоположения наиболее слабого конструктивного элемента здания (рис. 6).

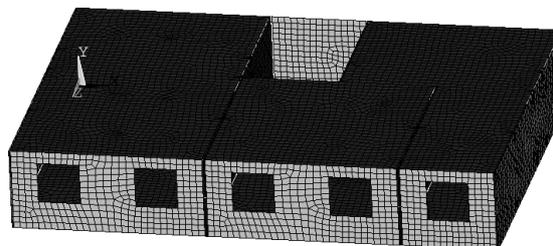


Рис. 6. Конечно-элементная модель этажа типовой секции-этажа здания

Дискретизация секции-этажа выполнялась разными типами конечных элементов, включенными в библиотеку ПК ANSYS: панели и перекрытия здания моделировались пластинчатыми элементами SHELL93; стыки самонесущих панелей – стержневыми элементами BEAM188 со свойствами арматурной стали АIII (диаметром 18 мм – сверху и внизу секции и 8 мм – между ними); платформенные горизонтальные и вертикальные стыки – пластинчатыми элементами SHELL281 с учетом реальных размеров конструктивного решения узла (70×50×8 мм).

Рассматривались разные варианты кинематического воздействия на конструкции здания: растяжение, сжатие и изгиб, вызванные развитием деформаций в муфте сдвижения земной поверхности.

Результаты линейного расчета и уточненного нелинейного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций для всех видов нагружения показали, что при разных формах кинематического воздействия напряжения локализуются в стальных закладных элементах, и наиболее нагружены стыки в зоне лестничной клетки. Это было выявлено и при обследовании зданий, находящихся в подобных условиях нагружения.

На рис. 7 приведены результаты расчета эквивалентных напряжений в стыках секции-этажа при растяжении.



Рис. 7. Эквивалентные напряжения в стыках при растяжении (линейный расчет)

При описании физической нелинейности материала арматурной стали принималась модель билинейного изотропного упрочнения для проведения анализа при больших деформациях. Это сочетание условия текучести Мизеса с изотропным расширением поверхности пластичности. Предел текучести арматурной стали  $\sigma_T = 240$  МПа.

При выполнении нелинейного расчета использовалась пошаговая процедура приложения кинематического воздействия, т. е. перемещения увеличивались пошагово за счет достаточно малых приращений, чтобы гарантировать получение достоверной зависимости «нагрузка – перемещение». При этом на каждом шаге выполнялись равновесные итерации и оценивалась сходимости итерационного процесса методом Ньютона – Рафсона.

На рис. 8 показаны результаты расчета пластических деформаций при растяжении секции-этажа.

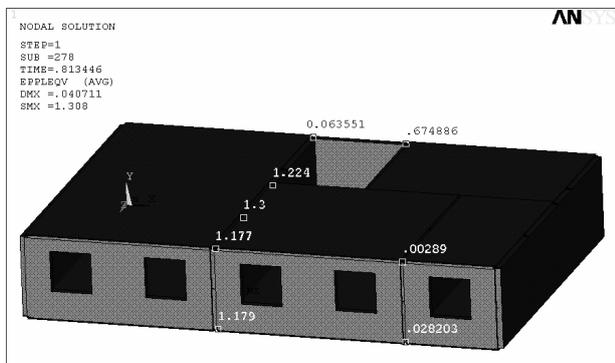


Рис. 8. Пластические деформации в стыках при растяжении

Здание по-разному может быть ориентировано в мультыде сдвига земной поверхности, поэтому исследовались разные возможные формы изгиба здания. При этом сделано предположение, что при изгибе здания предельное состояние также наступит тогда, когда в одном из стальных закладных элементов здания будет достигнуто критическое удлинение  $\epsilon_{cr}$ .

Для иллюстрации на рис. 9 и 10 показан характер перемещений для двух вариантов деформирования секции-этажа.

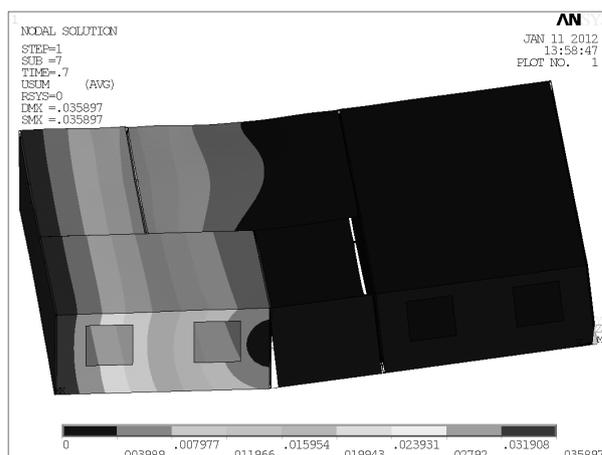


Рис. 9. Изополя суммарных перемещений секции-этажа при изгибе

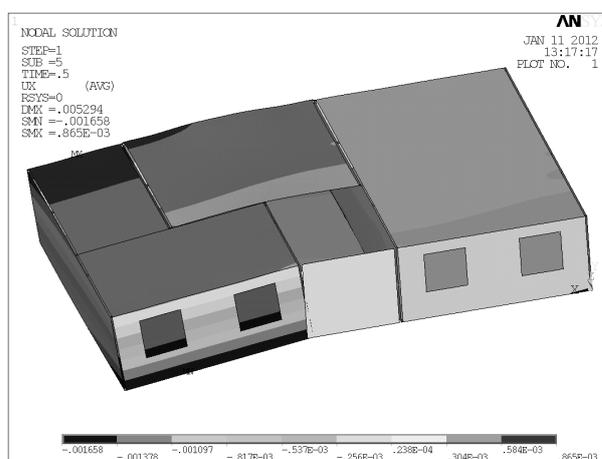


Рис. 10. Изополя перемещений по оси X при изгибе

### Выводы

Панельные жилые здания, расположенные на подрабатываемых территориях, в результате неравномерного оседания земной поверхности могут получить существенные повреждения, которые зависят от их расположения в мульде сдвига.

Проведенные вычислительные эксперименты жилого панельного здания типовой серии 1-468А позволили выявить некоторые особенности характера напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов здания, позволяющие в дальнейшем прогнозировать наличие аварийного состояния здания или возможность его дальнейшей эксплуатации.

Анализ напряженно-деформированного состояния наружных стеновых панелей из ячеистого бетона показал, что в зависимости от физико-механических свойств железобетона первые трещины в бетоне появляются при растяжении на величину 0,05...0,4 мм. При появлении трещин бетон исключается из работы и прочность в зоне стыка обеспечивает арматура. На поверхности панелей образуются характерные трещины непосредственно по стыку панелей и в углах оконных проемов, что совпадает с данными натурных обследований.

В результате проведенных вычислительных экспериментов при разных формах кинематического воздействия получены зависимости удлинений соединительных элементов в наиболее нагруженных стыках панелей и перекрытий от перемещений секции-этажа.

Во всех рассмотренных случаях кинематического воздействия наибольшая концентрация напряжений отмечается в стальных элементах, соединяющих лестничные площадки со стеновыми панелями и в закладных деталях в уровне пола в нижнем углу лестничной клетки. Значительные напряжения возникают в вертикальных стыках панелей слева и справа от лестничной клетки. Наиболее опасным элементом конструкции является нижнее примыкание плит перекрытия к несущей стене в зоне лестничной клетки

Определены коэффициенты, позволяющие оценить предельное перемещение здания в целом, при котором произойдет разрушение стыка в зависимости от расположения секции-этажа в здании и значениях прогнозируемых осадок.

#### Библиографические ссылки

1. *Кашеварова Г. Г., Фаизов И. Н., Зобачева А. Ю.* Конструктивные меры защиты зданий и сооружений на подработанной территории // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2010. – № 1. – С. 72–77 (Строительство и архитектура).
2. *Ермаков В. В., Патраков А. Н.* Мониторинг несущих строительных конструкций жилых зданий, построенных на подрабатываемых территориях без конструктивных мер защиты // Вестник ПГТУ. – 2010. – № 1. – С. 63–71 (Строительство и архитектура).
3. *Перельмутер А. В., Сливкер В. И.* Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.
4. *Кашеварова Г. Г., Сон М. П., Воробьев А. В.* Определение предельно допустимых деформаций панельных зданий, эксплуатируемых на подработанной территории // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях : Материалы Рос. конф. с междунар. участием (22-23 мая 2012 г., г. Уфа). – С. 51–55.
5. ВСН 32-77. Инструкция по проектированию конструкций панельных жилых зданий. – М. : Госгражданстрой, 1978.
6. *Шапиро Г. И., Юрьев Р. В.* К вопросу о построении расчетной модели панельного здания // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 12.

*G. G. Kashevarova*, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University

*A. V. Vorobyev*, Post-graduate, Perm National Research Polytechnic University

*I. N. Faizov*, Perm National Research Polytechnic University

#### Numerical Modeling to Assess the Carrying Capacity of Panel Buildings on Undermined Areas

*The paper considers five-storey domestic buildings of 1-468A type series, located in a potentially dangerous area of shifting the earth's surface. Numerical modeling and ANSYS software system are used to assess the carrying capacity of buildings and forecasting the deformation process. As a result of numerical experiments the most loaded joints of panels and floors, depending on the building location relative to the displacement trough are revealed.*

**Key words:** mining, residential building, displacement trough, panel building, stress, finite-element method, adaptive forecast model.

УДК 556.555.8

**К. Н. Михеева**, магистрант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**О. Б. Гольцова**, кандидат технических наук, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПО СНИЖЕНИЮ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ И ПОЛУЧЕНИЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ИЖЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

*Описываются основные методы очистки ижевского водоема. Проводится анализ и оценка влияния управляющих воздействий на критерии качества воды для получения синергетического эффекта, необходимого для поддержания экосистемы ижевского водохранилища.*

**Ключевые слова:** анализ, риски, экосистема, методы очистки, управляющие воздействия.

**С**оздание водохранилищ на равнинных реках для нужд города и населения существенно изменило комплекс гидрологических, гидрохимических и биологических характеристик экосистем [1]. Уменьшение проточности и водообмена,

накопление биогенных веществ и органических соединений способствует обильному развитию синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды. Интенсификация «цветения» усиливается за счет антропогенной нагрузки, так как водохранилища