

УДК 624.04

М.П. Сон

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЗОНЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Приведен анализ проблем, связанных с расчетом панельных зданий, находящихся на подрабатываемой территории. Показана методика проведения численных экспериментов для нахождения предельно допустимых деформаций, учитывающая нелинейную работу сооружения. Рассмотрены вопросы сходимости результатов расчетов и адекватности расчетной модели.

Ключевые слова: подрабатываемые территории, оседание земной поверхности, панельные здания, разрушение конструкций, проблемы компьютерного моделирования.

Минерально-сырьевой комплекс Российской Федерации обеспечивает до трети ВВП, экспорт полезных ископаемых приносит стране более 70 % валютных поступлений. В недрах Российской Федерации разведана значительная часть мировых запасов важнейших видов полезных ископаемых: половина запасов алмазов, более четверти – природного газа и железа, около 20 % – палладия и углей, 17 % – никеля, а также от 7 до 10 % – нефти, золота, серебра, платины и др. Доля России в мировой добыче нефти составляет 12,8 %, газа, никеля, алмазов – более 20 %, платины – 14,5 %, золота – 7 % [1].

Города, расположенные около крупных месторождений, из-за добычи полезных ископаемых находятся в зоне негативного влияния оседания земной поверхности.

При длительной добыче руд, солей и прочих ископаемых возможны провалы и образование воронок, что влечет за собой скольжение слоев земной поверхности (рис. 1), в результате сооружения на значительной территории подвергаются деформациям.

Большая часть застройки на подрабатываемых территориях была возведена более 30 лет назад и не предназначена для строительства в районах горных выработок, не имеющих средств конструктивной защиты от оседания земной поверхности. Жилую застройку промышленных городов в основном составляют панельные здания типовых

серий. В результате образования провалов в России десятки домов данного типа оказались в зоне сдвижения грунтов, что привело к образованию дефектов и разрушений в их конструкциях (рис. 2).



Рис. 1. Провал



Рис. 2. Разрушение конструкций панельных зданий

Для оценки технического состояния, разработки мероприятий по обеспечению надежности эксплуатируемых панельных зданий и принятия противоаварийных мер необходимо разработать систему оценок по параметрам, влияющим на развитие процесса разрушения, на резерв несущей способности зданий. Даже если ведется мониторинг технического состояния этих зданий, отслеживаются деформации частей здания, то эти данные не с чем сравнивать, так как нет численного критерия предельно допустимых деформаций.

При помощи средств математического моделирования необходимо определить предельные деформации панельных зданий, которые лягут в основу экспертных оценок работоспособности сооружений.

Решение этой задачи связано с рядом трудностей и факторов, влияющих на окончательный результат:

А. Факторы, связанные с учетом нелинейной работы сооружения:

1. Математические модели неупругого деформирования материала. Для полноценного учета пластического поведения материала при анализе требуется знание трех важных критериев: условия начала текучести, закона течения и закона упрочнения. Комбинация этих критериев определяет ту или иную модель пластического поведения материала.

2. Выбор вида диаграммы напряжение – деформация (полигональное, экспоненциальное и т.д.).

3. Выбор типа конечного элемента.

4. Влияние дискретизации конечно-элементной сетки.

5. Выбор шага приращения нагрузки (перемещения). В большинстве нелинейных статических задач для получения верного решения требуется приложение нагрузки малыми шагами. Нагрузка плавно нарастает от начального (обычно нулевого) значения до конечного. Также целесообразно пользоваться средствами улучшения сходимости. Например, в программе ANSYS, выполняющей решение на основе метода Ньютона – Рафсона, можно использовать метод ограничивающих дуг.

6. Критерий сходимости (для всех видов нелинейностей проверка сходимости делается по невязке усилий ($\{F\} - \{F\}_{i-1}$) и/или по величине приращения перемещений $\{u\}_i$ при переходе к следующему шагу). Далее, используя последний баланс нагрузки, выполняем линейное решение и осуществляем проверку сходимости, которую можно производить как по перемещениям, так и нагрузкам, с использованием одной из векторных норм (например, евклидовой нормы) для всех степеней свободы.

7. Учет различных видов нелинейности (физическая, геометрическая, конструктивная).

8. Выбор погрешности сходимости для равновесных итераций. Например, программа ANSYS позволяет сделать выбор при установке критериев сходимости для сил, моментов, смещений или поворотов или для любой комбинации этих элементов.

9. Задаваемое количество равновесных итераций. Если критерии сходимости не будут удовлетворены в пределах заданного числа итераций равновесия, то дальнейший процесс решения задачи может прерваться.

Б. Проблемы моделирования стыков между панелями:

1. Классическая модель [2, 3] (рис. 3). Панели представляются оболочечными элементами, соединенными упругими связями, работающими на растяжение, сжатие и сдвиг.

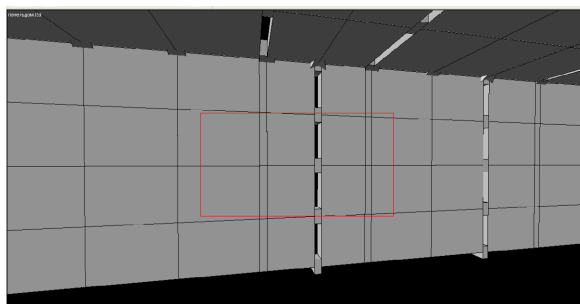


Рис. 3. Фрагмент модели панельного здания

Коэффициенты податливости растворного шва можно, например, определять по формулам, полученным на основании экспериментов, проведенных в МНИИТЭП (1) [2]:

$$\lambda_m = 1,5 \cdot 10^{-3} R_m^{-2/3} t_m \text{ при } \sigma_m < 1,15 R_m^{2/3};$$

$$\lambda_m = 5 \cdot 10^{-3} R_m^{-2/3} t_m \text{ при } \sigma_m > 1,15 R_m^{2/3}, \text{ но не более } 2R_m^{2/3},$$

где σ_m – среднее значение сжимающих напряжений в растворном шве, МПа; R_m – кубиковая прочность раствора, МПа; t_m – толщина растворного шва, мм; λ_m – коэффициент податливости растворного шва при кратковременном сжатии, мм³/Н.

Связи между плитами перекрытий считаем абсолютно жесткими в горизонтальном направлении, перпендикулярном плоскости стен. Для этого соединяем узлы элементов (1, 2, 3 и 4 на рис. 4) плит перекрытий соответствующими связями или объединяем их перемещения по этому направлению.

К недостаткам этой модели, помимо трудоемкого процесса моделирования и задания жесткостей каждой связи и его громоздких вычислений, относится сложность ее использования в нелинейных задачах в связи с отсутствием полноценных данных о их поведении за пределом упругости.

2. Модель, полностью учитывающая свойства природы. Модель из объемных конечных элементов, учитывающая реальные узлы сопряжения панелей: с закладными деталями, арматурными выпусками и дефектами стыков (рис. 5).

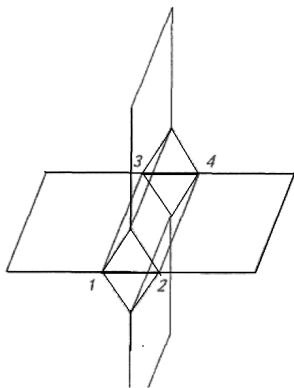


Рис. 4. Расчетная схема платформенного стыка

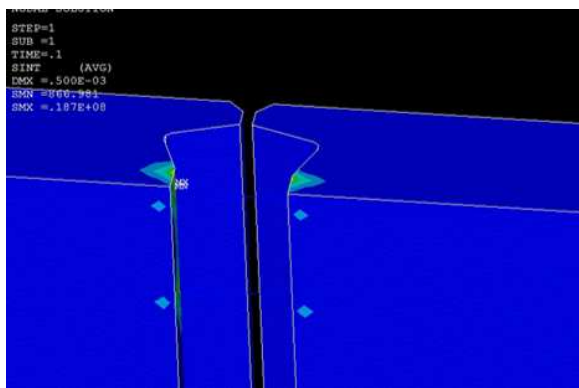


Рис. 5. Объемная модель соединения панелей

К недостаткам этой модели относится ее громоздкость и необходимость большой компьютерной мощности для реализации вычислительного процесса.

3. Упрощенная модель. По предварительным расчетам определить растянутые стыки, далее исключить из них бетон в силу его выкрашивания, а оставить только закладные детали и арматурные выпуски согласно серии (рис. 6), которые моделировать физически нелинейными стержнями.

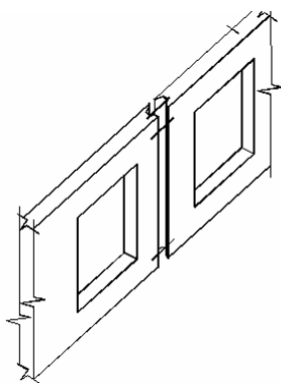


Рис. 6. Соединение панелей зданий серии I-468A

При проведении нелинейного расчета, особенно для такой сложной пространственной задачи, эти и многие другие факторы будут влиять на конечный результат. И порой изменение того или иного параметра может привести к парадоксальным и неадекватным результатам.

К описанным выше трудностям расчета нужно добавить необходимость учета совместной работы здания с основанием. Модель основания (Винклера, Пастернака, упругого изотропного полупространства и др.) также

может существенно повлиять на результаты расчета. Помимо этого в подвалах некоторых зданий за многолетний период эксплуатации происходили прорывы труб с затоплением грунтов основания, что привело к снижению их физико-механических свойств.

Последней большой проблемой расчета является различная ориентация зданий относительно мульд сдвижения грунта, в результате здания, расположенные в этой зоне, могут получить различные формы деформации: прогиб, выгиб, перекося, кручение, а также различные их сочетания.

Для того чтобы гарантировать сходимость решения и его адекватность, необходимо достаточно хорошо понимать поведение исследуемого сооружения при расчетном нагружении. Для подтверждения адекватности той или иной модели и результатов расчета мы пользуемся следующей методикой с постепенным усложнением работы сооружения.

1. Учитывая, что разрушение здания начинается в зонах растянутых стыков, определяем критическое удлинение здания ε_{cr} от равномерного кинематического воздействия, приложенного к его грани. Адекватность этого расчета легко проверить, так как ε_{cr} должно быть несколько меньше, чем суммарная длина стыков здания (вдоль его оси), умноженная на деформацию стали в момент разрыва (для Ст. 3 она составляет 26 %)

2. Предполагается, что при изгибе предельно допустимый прогиб-выгиб здания δ будет достигнут тогда, когда одно из волокон здания удлинится на величину ε_{cr} .

3. Для приближенной оценки здание рассматривается как упругий стержень, в котором удлинение волокна можно найти как произведение взаимного угла поворота сечений θ на половину высоты здания H :

$$\varepsilon_{cr} = \theta \frac{H}{2}.$$

4. Проанализировав возможные варианты изгиба по лекалу, найдем наиболее неблагоприятный, для которого и произведем уточняющий расчет, используя пространственную физически нелинейную модель здания. Адекватность расчета на этом этапе достигается за счет связи предельного прогиба-выгиба здания с уже проверенной ε_{cr} . На этом этапе можно сказать, какие предельно возможные прогибы допустимы для данных зданий в зависимости от принятых уравнений изгиба.

5. Далее учитываем совместную работу системы здание – основание. На этом этапе мы изгибаем основание, вследствие чего изгибается и само здание. Сначала проводятся расчеты на стержневой модели (аналогично п. 2, 3), а затем уточняющие расчеты (аналогично п. 4), что позволяет нам определить критический радиус кривизны R изгиба земной поверхности и по известным скоростям оседания спрогнозировать время наступления исчерпания несущей способности сооружений.

Данная методика была применена при расчете крупнопанельных зданий серии 1-468А в г. Березники, находящихся в зоне негативного влияния оседания земной поверхности.

Библиографический список

1. Википедия: электронная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: <http://ru.wikipedia.org>.

2. Шапиро Г.И., Ягуст В.И. Влияние некоторых факторов на податливость горизонтальных растворных стыков стеновых панелей при кратковременном и длительном сжатии // Исследования несущих бетонных и железобетонных конструкций сборных многоэтажных зданий / МНИИТЭП. – М., 1980.

3. Шапиро Г.И., Юрьев Р.В. К вопросу о построении расчетной модели панельного здания // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 12.

Получено 2.10.2012

M.P. Son

PROBLEMS OF COMPUTER MODELING AND CALCULATION OF THE LARGE-PANEL BUILDINGS BEING IN A ZONE OF SUBSIDENCE OF A TERRESTRIAL SURFACE

In this article the analysis of problems connected with calculation of the panel buildings being in a zone of subsidence of a terrestrial surface is considered. The technique of carrying out numerical experiments for finding of maximum permissible deformations is shown.

Keywords: undermined area, subsidence of a terrestrial surface, panel buildings, structural failure, problems of computer modeling.

Об авторах

Сон Марк Петрович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительная механика и вычислительные технологии» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: smivt@pstu.ru).

About the authors

Son Mark Petrovich (Perm, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Mechanics and computational technologies, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: smivt@pstu.ru).