

Министерство образования Российской Федерации
Пермский Государственный Технический Университет
Кафедра строительных конструкций

Реферат на тему:

«Инженерное моделирование строительных конструкций как инструмент исследования напряженно-деформированного состояния. Математическое моделирование с учетом дефектов и повреждений в строительных конструкциях, осадок системы основание-фундамент здания. Понятие. Характеристика программно-расчетных комплексов. Примеры практической реализации. Условия распространения результатов моделирования на реальные конструкции. Оценка адекватности модели.»

Работу выполнила:
студентка группы
ПГС-06-1
Лузганова Н. Н.
Работу проверил:
Патраков А.Н.

Пермь, 2010г.

Оглавление

1. Введение.....	3
2. Математическое моделирование.....	4
3. Характеристика программно-расчетных комплексов.....	6
4. Примеры практической реализации.....	11
5. Учет дефектов в расчетах строительных конструкций.....	14
6. Оценка адекватности модели.....	15
7. Используемая литература.....	16

Введение

В последнее десятилетие экономически и методически целесообразно проведение исследований сложных сооружений с применением расчетных моделей.

Моделирование - построение и изучение моделей реально существующих предметов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.

Существует два основных метода моделирования – физическое (инженерное) и математическое.

Физическое моделирование, основанное на теории простого или расширенного подобия, по мере усложнения задач исследований все менее целесообразно, так как не решает задач снижения трудоемкости и стоимости изготовления моделей, соблюдения планируемых сроков эксперимента.

Поэтому в последнее время более целесообразно применять **математические модели** строительных конструкций, используя множество различных программных-комплексов.

Сочетание при исследовании сложных строительных конструкций методов физического и математического моделирования обуславливает целесообразность применения **принципа декомпозиции (членения)** объекта исследований на более простые элементы, отдельные испытания которых потребуют гораздо меньше ресурсов по сравнению с испытаниями всей системы. Особенно этот принцип эффективен при исследовании сооружений, состоящих из большого количества однотипных элементов и узлов.

Рассматривая процесс исследования строительных конструкций как некоторую систему, необходимо выделить в ней три основные подсистемы:

- экспериментальные исследования на физических моделях;
- расчетные исследования на математических моделях;
- связь между экспериментом и расчетом, включающая идентификацию некоторых параметров расчетной модели, проверку ее адекватности и корректировку.

Математическое моделирование

Любое математическое моделирование строится на формировании расчетной схемы сооружения. **Формирование расчетной схемы сооружения** – это переход от реального объекта или конструкции к расчетной модели путем отбора наиболее существенных (значимых для конкретной ситуации) особенностей, их идеализация и схематизация, допускающая последующую алгоритмизацию и математическую обработку.

При изучении поведения сложной системы её расчленяют на более простые подсистемы: плоские или пространственные рамы, несущие стены и их фрагменты, плиты перекрытий, фундаменты.

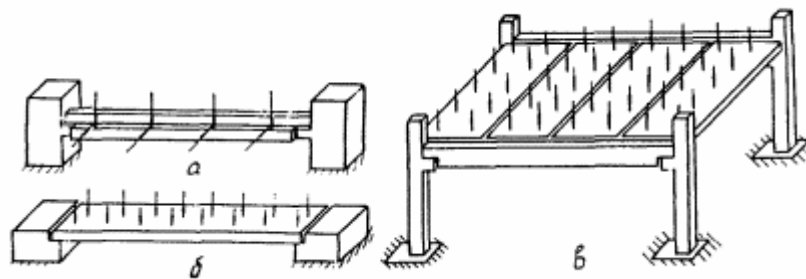


Рис.1. Декомпозиция каркаса многоэтажного здания

а - подсистема "ригель"; б - подсистема "плита"; в - подсистема "швы"

Однако при выборе расчетной схемы следует придерживаться следующих правил:

1. Аппроксимирующая модель работы проектируемого объекта должна правильно и полно отражать работу реального объекта, т.е. соответствовать механизмам его деформирования и разрушения.

Например: при расчетах на прочность изгибаемая балка должна противостоять моменту и поперечной силе, а при оценке жесткости для балки определяется прогиб; подпорная стенка рассчитывается на устойчивость против опрокидывания и на прочность основания по сжимающим напряжениям; сваи рассчитываются на вдавливание/ выдергивание по грунту и на прочность по материалу (при внецентренном сжатии/растяжении), кроме того, для изгибаемой сваи проверяется заделка в основание, а при расчете по перемещениям для фундамента определяется осадка.

2. Принимаемая расчетная гипотеза должна ставить рассчитываемую конструкцию в менее благоприятные условия, чем те в которых находится действительная конструкция.

3. Расчетная модель работы сооружения должна быть достаточно простой. Целесообразно иметь не одну модель, а систему аппроксимирующих моделей, каждая из которых имеет свои границы применения.

Инженерная схематизация строительного объекта связана с использованием допущений (гипотез), позволяющих математически описать учитываемые реальные свойства конструкций и материалов. Приемы схематизации – общепринятые постулаты: закон Гука, закон Кулона, гипотеза плоских сечений, расчет по недеформированной схеме, замена реальной конструкции стержнем (колонн, балок перекрытий), пластинкой или оболочкой (плит покрытий, перекрытий, несущих стен).

Формирование расчетной схемы в строительном проектировании включает три группы допущений:

1. схематизация геометрической формы проектируемого объекта, назначение граничных условий.

2. схематизация свойств материалов.

3. схематизация нагрузок.

Реальный объект заменяется идеализированным деформируемым телом с изученными *топологическими свойствами*: стержень (балка), стержневой набор (рама, ферма), арка, плоская стенка, деформируемая в своей плоскости, изгибаемая пластинка, пространственное массивное тело и определенностью предполагаемого *вида напряженно-деформированного состояния*: плоское напряженное состояние, плоское деформированное состояние, трехмерное напряженное состояние.

Характеристика программно-расчетных комплексов

В настоящее время существует множество программно-расчетных комплексов, позволяющих моделировать строительные объекты различной сложности. Ниже представлена краткая характеристика некоторых таких программных комплексов.

ПК "SCAD Office"

Вычислительный комплекс SCAD – универсальная вычислительная система, предназначенная для прочностного анализа строительных конструкций различного назначения на статические и динамические воздействия, а также ряда функций проектирования элементов конструкций. В основе программы лежит метод конечных элементов.

SCAD включает развитую библиотеку конечных элементов для моделирования стержневых, пластинчатых, твердотелых и комбинированных конструкций, модули анализа устойчивости, формирования расчетных сочетаний усилий, проверки напряженного состояния элементов конструкций по различным теориям прочности, определения усилий взаимодействия фрагмента с остальной конструкцией, вычисления усилий и перемещений от комбинации загрузений.

SCAD office содержит несколько компонентов, при помощи которых является возможным конструировать различные типы сечений конструкций:

Конструктор сечений – формирование произвольных составных сечений из стальных прокатных профилей и листов, а также расчет их геометрических характеристик, необходимых для выполнения расчета конструкций;

Вест – определение нагрузок и воздействий на строительные конструкции;

Кросс – определение коэффициентов постели при расчете фундаментных конструкций на упругом основании на основе моделирования работы многослойного грунтового массива по данным инженерно-геологических изысканий;

Арбат – для проверки несущей способности или подбора арматуры в элементах железобетонных конструкций;

Монолит – проектирование железобетонных монолитных ребристых перекрытий, образованных системой плит и балок, опирающихся на колонны и стены;

Камин – для проверки несущей способности конструктивных элементов каменных и армокаменных конструкций и т.д.

Возможности ПК "SCAD Office" позволяют решать проектные задачи не только в традиционной для настоящего времени прямой постановке: архитектурная идея —> пространственное моделирование —> расчет —> проект —> строительство объекта; но и в обратной: объект —> идея реконструкции —> обследование —> пространственное моделирование —> итерационный расчет —> оценка физического износа —> проект реконструкции —> реконструкция объекта.

В рассматриваемой цепочке неопределенным звеном является оценка физического износа несущих конструкций.

Решение вопроса о физическом износе несущих строительных конструкций зданий можно представить в виде следующей последовательности:

1. Проведение технического обследования несущих конструкций здания с выявлением его реальных технических характеристик: типа конструктивной схемы, жесткостных характеристик материалов, характеристик узлов закрепления и т.д. (использование данных обследования здания с внесением надлежащих корректив и дополнений к техническому отчету и при необходимости - проведение дополнительного обследования).
2. Проведение анализа конструктивной схемы здания и создание эталонных (без учета дефектов, деформаций, повреждений) пространственных моделей: архитектурной модели с помощью программных комплексов архитектурно-строительного проектирования (ArchiCAD, AutoCAD) и расчетной модели с помощью ПК;
3. Комплексный расчет эталонной модели здания в ПК с учетом свойств существующего грунтового основания. Выявление зон повышенных деформаций конструкций, напряжений, просадок грунтов, несоответствий данным проекта

(при его наличии) и сопоставление результатов первичного расчета с натурными исследованиями.

4. Внесение корректировок в расчетную модель здания: дополнительные зафиксированные осадки, деформации, отклонения конструкций от вертикали, моделирование трещин, уточнение свойств грунтового основания на локальных участках и др.

5. Итерационный комплексный расчет модели здания в ПК с учетом внесенных корректив в расчетную схему и сопоставление результатов расчета с натурными исследованиями.

6. Выявление наиболее опасных зон перенапряжений и сверхнормативных деформаций; зон, требующих дополнительного обследования, уточнения технических параметров пространственной модели, усиления или замены несущих строительных конструкций.

7. Оценка степени физического износа несущих строительных конструкций.

ПК "LIRA"

ПК «ЛИРА-WINDOWS» - многофункциональный программный конечно-элементный комплекс для расчета, исследования и проектирования строительных конструкций различного назначения: высотных зданий, покрытий и перекрытий больших пролетов, подпорных стен, фундаментных массивов, каркасных конструкций промышленных цехов, отдельных элементов (колонн, ригелей, ферм, панелей) и других.

«Ли́ра-windows» - модульная система, состоящая из следующих модулей:

ЛИР-ВИЗОР – формирование конечно-элементной моделей рассчитываемых объектов, описание физико-механических свойств материалов, налагаемых связей, нагрузок и воздействий, а также взаимосвязей между нагрузками с целью определения их наиболее опасных сочетаний; расчет напряженно-деформированного состояния.

ЛИР-АРМ – подсистема конструирования ж/б конструкций (подбор площадей сечений арматуры элементов колонн, балок, плит и оболочек по первому и второму предельным состояниям).

ЛИР-СТК – подбор сечений элементов стальных конструкций (фермы, колонны и балки).

УСТОЙЧИВОСТЬ – модуль проверки общей устойчивости рассчитываемого сооружения с определением коэффициента запаса и формы потери устойчивости.

ЛИТЕРА – модуль, реализующий вычисление главных и эквивалентных напряжений по различным теориям прочности.

СЕЧЕНИЕ – модуль, позволяющий сформировать сечения произвольной конфигурации, вычислить их осевые, изгибные, крутильные и сдвиговые характеристики.

ANSYS

Сложность моделирования строительных объектов для выполнения качественного расчёта и анализа с целью определения резервов несущей способности при наличии дефектов, или для выявления участков конструкции, в которых возможно появление и развитие трещин, требует работы с так называемыми «тяжёлыми» расчётными системами, примером которых является программный комплекс ANSYS – один из самых мощных современных программных продуктов, позволяющих выполнять полноценный анализ проектных разработок новых и реконструируемых зданий. ANSYS позволяет проводить сложные нелинейные расчёты, учитывать все особенности строительных конструкций, в том числе, наличие и развитие системы трещин или ухудшение свойств материалов, взаимодействие здания с грунтовым массивом, влияние времени и поэтапное изменение внешних нагрузок. Это даёт возможность специалисту получать наиболее достоверные результаты расчёта при проведении вычислительных экспериментов, существенно сокращая сроки и финансовые потери на производство работ.

Задачи, решаемые с помощью программного комплекса ANSYS.

Модули: ANSYS Multiphysics, ANSYS Mechanical, ANSYS Structural, ANSYS Professional, ANSYS DesignSpace.

- статический и динамический анализ конструкций с учетом нелинейного поведения материалов, включая ползучесть, большие пластические деформации, значительный изгиб, сверхэластичность, накопление остаточной деформации при циклическом нагружении, изменяющиеся условия контакта.

- определение собственных мод и резонансных спектров вынужденных колебаний, а также смещений и напряжений по известным вибрационным спектрам.

- динамический анализ переходных процессов и точный динамический анализ, моделирующий большие деформации в тех случаях, когда значимыми становятся силы инерции – ударное нагружение, дробление, быстрая формовка и т.п.

- контактные задачи (поверхность-поверхность, узел-поверхность, узел-узел, стержень-стержень).

- задачи потери устойчивости конструкций.

Примеры практической реализации.

Упруго-пластический расчет плитного фундамента на неоднородном основании.

В настоящее время при расчете гибких фундаментов по схеме «основание-фундамент» используются два метода определения деформаций. Это метод местных упругих деформаций и метод общих упругих деформаций. Метод местных упругих деформаций, предложенный Фуссом-Винклером нашел практическую реализацию в ряде программ «LIRA, CSAD, ADAPT, MAT3D, ELPLA, STAAD/Pro и др. Расчет гибких фундаментов при упругом и неупругом поведении грунта и материала фундаментов можно выполнить с использованием программ ANSYS, ABAQUS, CIVILFem и др.

Во вновь вышедшем своде правил СП 50-0101-2004 /1/ раздел 12.5 «Расчет плитных фундаментов», п. 12.5.4 рекомендуется «...Расчет внутренних усилий в системе «основание-фундамент-сооружение» допускается выполнять с использованием программ расчета сооружения на основании, характеризуемом переменным в плане коэффициентом жесткости (постели)», т.е. фактически предлагается использовать при проектировании гибких фундаментов первую группу программ расчета, отмеченные ранее.

Однако в рекомендациях /2/ предлагается при расчете фундаментных плит использовать и другие расчетные схемы:

- линейно-деформируемый слой с приведенным модулем деформации и осредненным коэффициентом Пуассона;
- линейно-деформируемое полупространство с приведенным модулем деформации и осредненным коэффициентом Пуассона;
- основание, подчиняющееся гипотезе коэффициента постели с постоянным или переменным коэффициентом постели.

В данной работе представлены результаты проектирования плитного фундамента 10-ти этажного жилого дома на неоднородном грунтовом основании. С целью сравнения, статические расчеты выполнены с использованием двух моделей основания:

- постоянным и переменным коэффициентом постели;

- нелинейно-деформируемого полупространства.

В обоих случаях применена расчетная схема «основание – фундамент». Фундамент реализован в виде двух конструкций. Конструкция в виде плиты толщиной 75 см и конструкция в виде плиты той же толщины, но с введением стен цокольной части здания.

Статический расчет плиты совместно с основанием выполнен с использованием программы ANSYS.

Процесс деформации бетона можно представить в виде нескольких стадий: упругое деформирование без трещин, упруго-пластическое деформирование, стадию образование и развития трещин. Причем микротрещины могут возникать и на стадии упругого деформирования, а развитие макротрещин сопровождается упруго-пластическим деформированием вблизи кончика трещины. Существующие определяющие уравнения, заложенные в самой программе для расчета, учитывают зависимость деформации бетона от всестороннего давления, зависимость поведения от траектории нагружения, деградацию жесткости и циклическое нагружение. Последняя модель поведения бетона включена в ANSYS в виде конечного элемента SOLID65.

В данной работе используется упруго-пластическая модель материала Друкера-Прагера, которая предполагает упругое идеально-пластическое поведение бетона и имеет меньшее количество определяемых из опытов параметров, что упрощает ее использование.

Модель материала Друкера-Прагера включена в программу ANSYS для описания упруго-пластического поведения без упрочнения и может быть применена при описании напряженно-деформированного состояния как конструкций из бетона, так и массивов грунта.

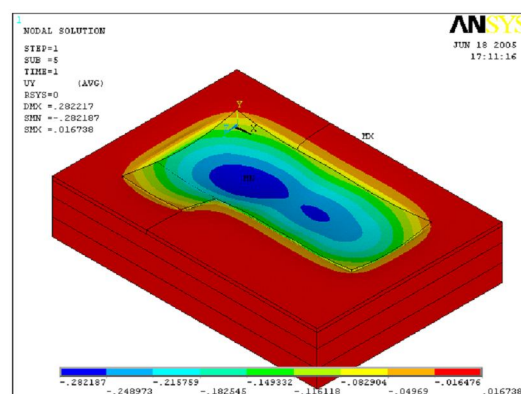


Рис. 2. Модель, включающая плоскую плиту и основание. Вертикальная деформация

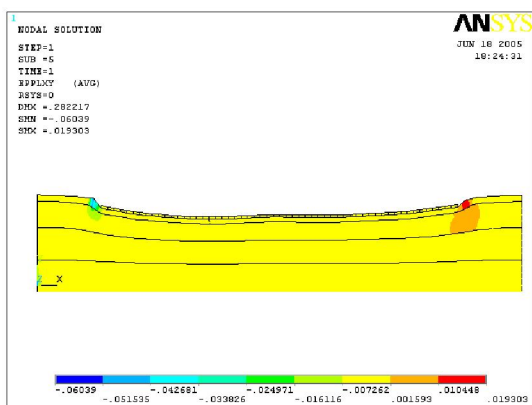


Рис. 3. Пластические деформации в массиве грунта

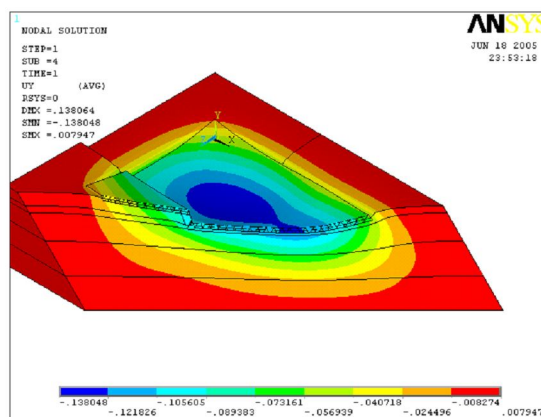


Рис. 4. Вертикальная деформация плиты и массива грунта

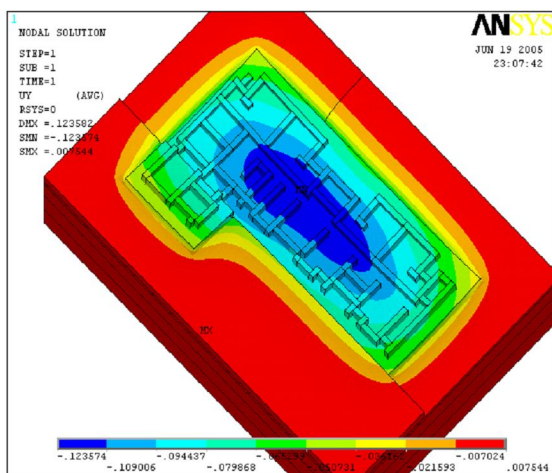


Рис. 5. Модель фундамента, включающая плиту, стены подвала и массив грунта. Вертикальная деформация.

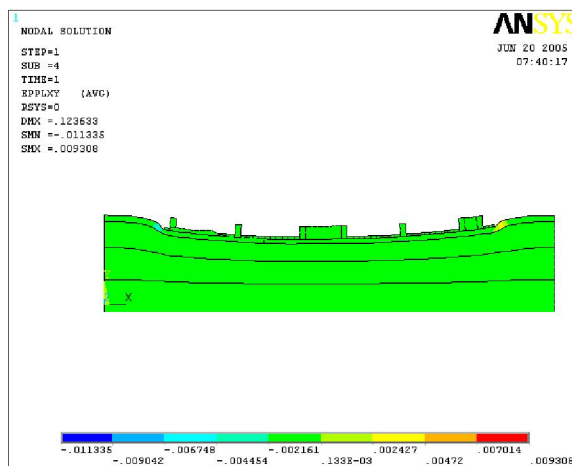


Рис. 6. Пластические деформации в массиве грунта.

Согласно приведенным выше диаграммам, результаты расчетов – пластические деформации – зависят от применяемой расчетной семы.

Значит, для оценки правильности расчетов необходимо учитывать не только свойства материалов и грунтов, но и их работу в комплексе; т. е. влияние расчетной схемы на результаты расчета.

Вывод: *учет осадок системы «основание-фундамент» подразумевает применение специальных конечных элементов для описания конструкций фундамента, применение различных моделей основания, используемых при расчетах соответственно в разных программных комплексах.*

Учет дефектов в расчетах строительных конструкций.

Сейчас всё больше и больше людей пытаются наиболее адекватно смоделировать различные конструкции сооружений, деталей, с учетом их дефектов и повреждений, трещин, коррозии.

Однако в настоящее время методика учета дефектов в МКЭ модели находится только в разработке. Пытаются систематизировать и оптимизировать ввод конкретных дефектов строительных конструкций в идеализированную МКЭ модель. Основная сложность состоит в точном геометрическом описании трещин в конструкциях в зависимости от причины их появления.

В настоящее время при анализе конструкций и их элементов помимо традиционной задачи определения напряженно-деформированного состояния все чаще рассматриваются задачи определения ресурса конструкций. Одним из вопросов, которые необходимо изучить в данном случае является вопрос условий разрушения конструкций. На сегодняшний день в численных методах решения задач механики деформируемого твердого тела развиваются два основных подхода к решению указанной задачи. Первый подход – моделирование развития дефектов (поры, трещины и т.п.) с учетом изменения граничных условий в рассматриваемом элементе конструкции и перестроение сетки при изменении размеров дефекта. Второй подход – оценка степени поврежденности материала в элементах конструкции при условии, что дефекты и их рост в явном виде не рассматриваются.

Согласно публикациям, посвященным применению первого подхода, указанный подход является индивидуальным для каждой конкретной задачи и приводит к написанию собственного программного обеспечения или макросов в существующих системах конечно-элементного анализа (ANSYS, NASTRAN и т.п.). Его применение требует от пользователя уровня знаний научного сотрудника, имеющего опыт численного моделирования задач роста трещин.

Второй подход не позволяет в явном виде оценить момент разрушения конструкции, но позволяет получить наглядную картину степени поврежденности конструкции на основе, используемых моделей накопления повреждений.

Указанная картина может применяться при оценке ресурса конструкции. Данный подход соответствует требованиям, предъявляемым к методам исследования процессов разрушения в массовых системах конечно-элементного анализа, используемых при решении инженерных задач. К недостаткам данного подхода можно отнести то, что не учитывается влияние деградации свойств материала вследствие накопления повреждений при анализе напряженно деформированного состояния рассматриваемых элементов конструкций.

В настоящее время при изучении процессов разрушения выделяют ряд основных явлений, характеризующих особенности протекания указанных процессов. На основе введенного положения механизмы разрушения разделяют на следующие основные типы: динамическое (импульсное), например: ударное; длительное, например: ползучесть, релаксация; периодическое (циклическое), например: квазистатическое, малоцикловая усталость, многоцикловая усталость. Среди перечисленных выше процессов разрушения одной из наиболее типичных и часто встречающихся причин отказов элементов инженерных конструкций является процесс многоциклового усталости.

Оценка адекватности модели

В общем случае под адекватностью понимают степень соответствия модели тому реальному явлению или объекту, для описания которого она строится. Вместе с тем, создаваемая модель ориентирована, как правило, на исследование определенного подмножества свойств этого объекта.

Поэтому можно считать, что адекватность модели определяется степенью ее соответствия не столько реальному объекту, сколько целям исследования.

Используемая литература

- Интернет-ресурсы
- СП 50-0101-2004
- «Основы автоматизации проектирования в строительстве» Г.Г.Кашеварова
- «Методические рекомендации по исследованию строительных конструкций с применением математического и физического моделирования» В.И. Кретов, Ф.В. Ярмульник
- «Ansys в примерах и задачах» К.А. Басов
- «Упруго-пластический расчет плитного фундамента на неоднородном основании» Г.Г. Болдырев, А.Ю. Трегуб
- «Сравнительная оценка результатов расчета фундаментной плиты различными методами» Г.Г. Болдырев, А.В. Гордеев

Вопрос: в чем состоит основная сложность моделирования дефектов строительных конструкций при их расчетах в программных комплексах?