

УДК 539.4 : 621.81

В.В. КУЛИБАБА, В.Ю. ЗАХАРОВ, В.С. ОРЕШНИКОВ, А.С. ГОЛИКОВ

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Калуга, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ

В работе исследованы вопросы прочности конструкций, выполненных из гипотетических материалов, способных выдерживать только сжимающие напряжения и не сопротивляющиеся растяжению при деформировании (например, дымоходных труб, плотин, зернохранилищ – конструкций, выполненных на основе структур кирпич – железо – бетон). Данные материалы во многом аналогичны идеально пластичному материалу. (Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации г. Обнинска (проект № 05-01-96727)).

прочность, хрупкое разрушение, надежность, пластичность, численные методы

Постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами

В связи с созданием крупных и уникальных машин и агрегатов (корпуса атомных реакторов, роторы сверхмощных турбин и генераторов) возникла необходимость исследования упругопластических деформаций. Повышение напряженности элементов современных конструкций и энергетических установок в процессе их проектирования требует использование более совершенных методов расчета, учитывающих как реальные особенности деформирования, так и реальную геометрию тела.

Обзор публикаций и выделение нерешенных задач

В настоящее время в связи с актуальностью данных исследований существует значительное количество конечноэлементных программ (ANSYS, NASTRAN, COSMOS и др.).

Основной целью работы является создание эффективного программного обеспечения для исследования и проектирования сложных технических систем, базирующего на математическом и геометрическом моделировании, теории вычислительных алгоритмов и современных вычислительных средствах в сочетании с методом конечных элементов.

Перспективными исследованиями в данном направлении являются анализ процессов малоциклового нагружения высоконагруженных элементов конструкций, рассмотрение методов хрупкого разрушения с позиций теорий упругости и пластичности, анализ технологических процессов машиностроения.

В настоящее время в связи с актуальностью данных исследований в отечественной и зарубежной литературе опубликовано много работ. Вместе с тем ряд задач остается нерешенным, и в связи с созданием перспективных конструкций появляются новые.

Постановка задачи данного исследования

Современное развитие технологии характеризуется повышением совершенства продукции с большими финансовыми и временными затратами. Применение комплекса CALS-технологий позволяет сократить сроки появления новых изделий

Для решения практических задач целесообразно использовать некоторые частные варианты теории пластичности, достаточно правильно описывающие важнейшие стороны данного явления. Наиболее частое применение находят деформационная теория пластичности и теория течения.

Изложение основного материала с обоснованием полученных научных результатов

Предельное состояние материала при малоцикловом нагружении в первую очередь достигается в зонах изменения формы деталей, где в силу различных конструктивных и эксплуатационных факторов одновременно действуют не менее двух главных напряжений.

Поскольку в поверхностных объемах детали имеет место напряженное состояние, близкое к плоскому, то для характеристики закономерностей разрушения могут быть использованы данные, получаемые в условиях реализации только одного из главных напряжений

Для определения долговечности в условиях «жесткого» малоциклового нагружения и сложного напряженного состояния используют условие разрушения Мэнсона, полученное для случая одномерного напряженного состояния, где величина размаха полной деформации заменяется размахом эквивалентной деформации.

В работе исследованы вопросы прочности конструкций, выполненных из гипотетических материалов, способных выдерживать только сжимающие напряжения и не сопротивляющиеся растяжению при деформировании (например, дымоходных труб, плотин, зернохранилищ – конструкций, выполненных на основе структур кирпич – железо – бетон). Данные материалы во многом аналогичны идеально пластичному материалу.

В явном виде соотношение между напряжениями и деформациями записать не удастся, однако достаточно воспользоваться соотношениями теории упругости, а при появлении растягивающих напряжений приравнять их нулю.

Сходность с пластичностью явления наблюдаются в таких материалах, как почва, скальные породы, керамические материалы, бетон. В них также может происходить необратимое деформирование при почти постоянных напряжениях.

Проведены тестовые расчеты с целью оценки прочности цилиндра при действии на него нормативной ветровой нагрузки и сил собственного веса.

Действие сил собственного веса учитывается приложением к расчетной конечноэлементной модели инерционной нагрузки в виде ускорения в вертикальном направлении.

Для решения поставленных задач используются трехмерные конечные элементы с квадратичной и кубичной аппроксимацией перемещений [1, 2].

Для анализа сходимости и оценки точности изложенного алгоритма выполнена серия тестовых расчетов в сопоставлении с приведенными в технической литературе экспериментальными данными, классическими решениями и решениями других авторов, свидетельствующие о возможности применения математических моделей для решения задач упругопластического деформирования.

При этом погрешность для решения данных задач (в пределах умеренной степени конечноэлементной идеализации) не превышает инженерную погрешность 10%.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

На основе трехмерных конечноэлементных аппроксимаций высших степеней с учетом специфики разрушения и деформирования проведены расчеты конструктивных элементов машиностроительных и приборостроительных конструкций. Перспективами дальнейших исследований является учет влияния армирующих элементов, анизотропии и т.д.

Литература

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. Кулибаба В.В., Зиновьев П. Г., Захаров В. Ю., Зуев Е.С., Сваталов С.А. Голиков А. С. Математическое трехмерное моделирование композитных и керамических конструкций двигателей // Вестник двигателестроения. – Запорожье, 2003. – С. 92 – 93.

Поступило в редакцию 1.06.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.П. Щербак, Московский гуманитарно-экономический институт, Калужский филиал, Калуга.