

Отраслевой специализированный научный семинар

**«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ»**

Руководитель семинара доктор технических наук, профессор Е.Н. Синицын

Темы семинара:

- Разработка и верификация программ расчета пластического деформирования конструкций – 17 сентября 2004 г.
- Разработка и верификация программ расчета конструкций на устойчивость – 16 ноября 2004 г.

Доклады семинара 17.09.2004 г.

1. Исследование процессов неизотермического упругопластического деформирования элементов конструкций с помощью ПС УПАКС. Кайдалов В.Б., Коротких Ю.Г., Панов В.А. Пахомов В.А. (ФГУП ОКБМ им. И.И. Африкантова, г. Нижний Новгород)
2. К анализу неупругого деформирования и усталости конструкций. Садаков О.С. (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)
3. Анализ предельных неупругих состояний конструкций. Чернявский О.Ф., Чернявский А.О. (Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)
4. Тестирование модуля программы CAN для расчета упруго-вязко-пластических задач. Долотказин М.Д., Синицын Е.Н. (ИЦП МАЭ, г. Москва)

В решении семинара отмечено, что нелинейный анализ уже стал обязательным методом исследования деформирования конструкций. Постановка задач, учитывающая физическую и геометрическую нелинейность, позволяет более адекватно, чем при использовании других подходов, оценивать разрушающие нагрузки и соответствующие коэффициенты запаса прочности конструкций, а также анализировать поведение конструкции в аварийных ситуациях. К сожалению, разработка моделей и вычислительных программ с учетом нелинейного поведения материалов и накопления повреждений практически не ведется.

Достоверность результатов расчетов конструкций в упругопластической области в значительной степени зависит от достоверности диаграмм деформирования материалов. В связи с этим актуальным направлением исследований является получение, накопление, анализ данных по диаграммам деформирования для наиболее распространенных кон-

струкционных материалов и публикация справочной информации.

Вследствие актуальности задачи развития методов и программных средств расчета физически и геометрически нелинейных задач и их практического применения, участники семинара считают необходимым проведение обязательной переподготовки (повышения квалификации) работников отраслей, связанных с расчетами и испытаниями на прочность. К примеру, отмечен значительный интерес к такой переподготовке у работников химической и нефтегазовой промышленности.

Предложено составить банк тестовых примеров по деформированию конструкций в нелинейной области. В перечень тестов, в первую очередь, предложено включить примеры, выполненные разработчиками и пользователями программ УПАКС, CAN, ANSYS. Тесты должны включать задачи для стержней, оболочек, трехмерных моделей. Должны быть представлены задачи при непропорциональном

неизотермическом нагружении. Важны примеры по расчету моделей и конструкций с различным уровнем деформаций пластичности и ползучести в материале.

Необходимо проводить разработки программного обеспечения по расчету прогрессирующего формоизменения и знакопеременного нагружения. Актуальна разработка методов прямого расчета предельных состояний. Указанные работы будут востребованы организациями промышленных отраслей и химических производств, использующих нормы прочности АЭС.

Рекомендовано:

1. Включить в проект Программы работ семинара на 2006-2015 гг. по направлению «Нормативно-методическое обеспечение целостности элементов ядерных установок» разработку инженерной методики расчета деформирования конструкций в нелинейной области (с учетом пластичности и ползучести) и обеспечение необходимых диаграмм деформирования для материалов, разрешенных Федеральными правилами и нормами «Правила устройства и безопасной эксплуа-

тации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» (ПН АЭ Г-7-008-89).

2. Провести семинар по расчету усталостных повреждений конструкций с привлечением специалистов по прочности, по нормам прочности, по материаловедению, а также разработчиков программ.
3. Специалистам ИЦП МАЭ составить программы обучения студентов и переподготовки специалистов для организаций отрасли по прочности, нормативному и программному обеспечению, моделированию конструкций и комплексным расчетам с учетом современных требований.

Курсы по переподготовке специалистов по прочности могут быть организованы ИЦП МАЭ на базе межвузовского центра прочности и ресурса конструкций атомной техники, учредителями которого могли бы быть вузы и организации ФААЭ. ИЦП МАЭ имеет значительный опыт проведения семинаров по программному и нормативному обеспечению, научно-практических конференций, обладает вычислительными программами, имеет в штате преподавательский состав высокой квалификации и опыт привлечения специалистов вузов.

Доклады семинара 16.11.2004 г.

1. *Нелинейные задачи НДС и устойчивости герметизирующих стальных облицовок сооружений АЭС при эксплуатационных и аварийных режимах. Голяков В.И. (ФГУП «Атомэнергoproект», г. Москва)*
2. *Некоторые вопросы расчета пространственных систем на устойчивость при наличии мало изменяемых нагрузок. Семенов В.А., Семенов П.Ю. (ООО ТЕХСОФТ, г. Москва)*
3. *Верификация модуля расчета на устойчивость программы CAN. Сеницын Е.Н., Власов Д.В., Шарин А.Б. (ИЦП МАЭ, г. Москва)*
4. *О полноте расчетов при проектировании пространственных конструкций на примерах некоторых уникальных сооружений. Семенов В.А., Семенов П.Ю. (ООО ТЕХСОФТ, г. Москва)*
5. *Динамическая устойчивость чехла ТВС ВВР-440. Юременко В.П., Абрамов В.В. (ФГУП ОКБ «Гидропресс», г. Подольск)*

В решении семинара сформулированы актуальные направления работ по созданию программного и методического обеспечения для расчета конструкций на устойчивость. Отмечена важность работ по совершенствованию методических, нормативных подходов к расчету общей и местной потери устойчивости конструкций.

Специалисты указали на необходимость:

- 1) разработки программ по расчету несущей способности конструкции с учетом физической и геометрической нелинейностей, несовершенств геометрии, контактных взаимодействий;
- 2) совершенствования программного обеспечения по расчету на устойчивость в части решения за-

дач при непропорциональном нагружении, расчета подкрепленных конструкций, отбраковки фиктивных форм и выделения общих форм потери устойчивости.

В настоящее время программные модули по расчету конструкций на устойчивость развиваются в отечественных программных комплексах CAN, MicroFE, КИПР-IBM, Термит. Программы, разработанные на основе МКЭ, позволяют определять критические параметры и формы потери устойчивости. При обосновании устойчивости конструкций ядерных энергетических установок основные трудности возникают с определением допускаемых нагрузок. Работу по совершенствованию программных средств по расчету устойчивости в бифуркационной постановке необходимо развивать, так как это важный этап для развития программных средств по расчету и анализу деформирования конструкций при статических и динамических воздействиях с учетом начальных напряжений, и в дальнейшем для разработки программ расчета конструкций с учетом геометрической нелинейности.

В докладах приведены примеры, когда причинами неполных или ошибочных расчетов конструкций являются неудачное моделирование конструкций, ошибки в программном обеспечении. Отмечено, что известные зарубежные программы дают неправильные результаты при решении ряда тестовых задач. По этой причине расчет ответственных конструкций необходимо проводить по нескольким программам.

Предложено обмениваться тестовыми задачами для верификации отечественных вычислительных кодов и создать банк тестовых задач. Для верификации вычислительных кодов необходимо использовать как тестовые задачи, имеющие аналитическое решение, так и численные решения, полученные по другим программам. Для задач, в которых модели-

рование проводится на основе различных типов конечных элементов (объемных, оболочечных, стержневых), сравнительный анализ можно осуществить только путем сопоставления результатов расчета по разным программам, поскольку аналитических решений нет.

Обращено внимание на необходимость совершенствования раздела норм прочности по устойчивости при исследовании проблемы численными методами. Нормативные требования по устойчивости должны учитывать такие факторы, как сложное напряженное состояние (чаще всего является неоднородным и моментным), толстостенность отдельных конструктивных элементов, наличие пластических деформаций в материале, динамическое нагружение, начальные неправильности.

Для практического применения недостаточно нормативных материалов, представленных в отечественных нормах прочности, в частности, в нормах прочности ЯЭУ. В них даны рекомендации по оценке устойчивости только стержней и цилиндрических, конических оболочек при давлении и сжатии для немногих условий закрепления.

Этого недостаточно для практики. Во-первых, номенклатура конструкций, для которых актуальны расчеты и обоснование устойчивости конструкций, значительно шире (по геометрии, нагружению, сочетанию конструктивных элементов, граничным условиям). Во-вторых, что более важно, напряженное состояние является сложным и неоднородным. С точки зрения практических расчетов необходимо определиться с целесообразностью введения различных запасов устойчивости при эксплуатационных режимах (при нормальных условиях эксплуатации, при нарушении нормальных условий эксплуатации, при аварийных ситуациях). Представляет интерес нормирование запасов устойчивости при динамическом нагружении.