

Особенности организации системы тестов для динамических кодов.

**О.Ю.Кавун (АЭП), Л.Н.Подлазов (НИКИЭТ),
А.И.Попыкин (НТЦ ЯРБ).**

1. Введение.

Тесты для сложных динамических кодов имеют ряд особенностей, которые следует учитывать при их разработке и использовании. Они заключаются в том, что динамические коды являются комплексными, их различные части относятся к различным областям знаний: нейтронной физике, теплофизике, прочности и надежности и т.д., причем в отдельно рассматриваемом коде они могут быть представлены с различной степенью детализации.

Таким образом на получаемые по динамическим кодам результаты и оценку их качества влияют разные причины, но прежде всего это сопоставление больших массивов информации как среди исходных данных, так и среди результатов. Выделение основного среди этой информации и гарантия идентификации с определенной точностью деталей является основным в создании системы тестов. Для этого нами вводятся понятия группы тестов, модели установки, кода оценки (первого расчета) теста. В Приложении формулируется два теста группы реактивных аварий согласно формализму, предложенному ниже. Предлагаемый способ организации системы тестов должен быть подвергнут обсуждению и на основании обсуждения должен быть уточнен. Вопросы, относящиеся к администрированию системы не рассматривались.

2. Особенности организации системы тестов для динамических кодов

Основное назначение разрабатываемых тестовых расчетов - возможность самостоятельного проведения расчетов всеми заинтересованными лицами и сравнения полученных результатов с ранее полученными результатами. При выполнении не очень сложных требований и желании расчетчика его вновь полученный результат может занять свое место в рассматриваемом тесте. Для программ, предназначенных для нестационарного полномасштабного совместного нейтронно-теплогидравлического (динамического) расчета реакторной установки (РУ), которые описаны в

рассматриваемой постановке, в которых описание пространственно-временного состояния требует больших объемов информации, причем для сравнения результатов тестовой задачи они должны быть в определенной мере идентифицированы.

Тесты и системы тестов существуют в различных видах. Укажем на несколько видов тестов, чтобы подчеркнуть собственный выбор.

Системой тестов достаточно широкого охвата является Argonne benchmark problem book (ABB) /2/. Принятый там подход можно использовать для разработки тестов для программ динамического расчета. Он включает, как правило, три составляющих, а именно: источник теста (Benchmark Source Situation - BSS.); формулировку теста (Benchmark Problem - BP); решение тестовой задачи (Benchmark Problem Solution - BPS).

Известны системы тестов для отдельных проблем, например, расчета критичности /3/. Очевидно, что такой подход мало соответствует комплексному коду, каковым является динамическая программа.

Известны наборы тестов, использованных для верификации и валидации определенных кодов, например, MNCP /4/-/5/. Подобная система тестов описана, например, в программах БИПР-7,8 /6/. Они являются полезными для любого комплексного кода для ускорения верификации и валидации его модификаций от простейших до глобальных и, как правило, создаются в процессе верификации и валидации .

В подходе AER применяются последовательные усложнения одного и того же теста /7/. Этот подход может быть использован в процессе разработки кода. Недостатком является трудно устанавливаемое соотношение с близкими по физическому смыслу тестами.

Мы предлагаем, на наш взгляд, оптимальный подход в рамках проекта, взяв за основу подход ABB с некоторой его детализацией и подход, принятый AER с небольшим его расширением.

Прежде всего следует согласиться с тем, что целесообразно разделить тесты по типам реакторов с учетом их модификаций. Без этого тесты теряют свою практическую ценность. Следующее, что следует учитывать в специфике тестов для динамических кодов - это основа для их разработки. Они, как и тесты для других кодов, могут быть разработаны на основе экспериментов и реакторных измерений. Кроме этого, что является на наш взгляд особенностью динамических кодов, они могут разрабатываться на основе сценариев аварийных режимов, которые невозможны для прямого моделирования, но, тем не менее, необходимы для обоснования безопасности реакторной установки. Причем если оба упомянутых источника могут быть использованы для формулировки тестов, предназначенных для усовершенствования отдельных составных частей кода и их взаимодействия (далее для определения качества кода), то второй источник может быть использован и для отработки самого сценария аварийного режима. Последние тесты, в которых характеристики установки близки или соответствуют проектным, следует особо отмечать. Учитывая специфику динамических кодов, следует для тестов, предназначенных для определения качества кода указать в их формулировке, для какой конкретно части кода предназначен тест: нейтронно-физической,

теплогидравлической, термомеханической или их взаимодействия.

Заканчивая вводную часть следует отметить, что в силу того, что рассматриваемые коды комплексные, любой тест, относящийся к части кода, например специфические тесты для нейтронно-физических констант любого уровня, тесты для определения качества численной реализации уравнений нейтронного расчета, решения уравнения теплопроводности и т.д., тесты для оценки применяемых моделей двухфазного течения, в настоящее время все еще актуальны для динамических кодов и могут быть включены в набор тестов, разрабатываемых в рамках данного проекта. Однако все же особенности разрабатываемого подхода заключаются в специфике подготовки тестов, определяющих в совокупности качество динамического кода, как инструмента детального моделирования РУ в условиях нормальной эксплуатации, расчета детального сценария аварийного режима и отработки самих сценариев. Для этого целесообразно ввести понятие группы тестов.

3. ПОНЯТИЕ ГРУППЫ ТЕСТОВ.

Поясним ее на примере. Ниже, при формулировке теста, будет подробно описана активная зона реактора ВВЭР-1000 и ее составляющих, которая позволяет сформулировать группу тестов для активной зоны с возможностью проведения детальных нейтронно-физических расчетов. Описание включает так же несколько возможных перегрузок для двухгодичной кампании. Что касается теплогидравлических расчетов, то они могут быть проведены для активной зоны упрощенным, но имеющим достаточную для ряда ситуаций точность, способом. В дальнейшем понятие группы тестов для нас будет основным в нашем подходе к тестам для динамических кодов. Вторым таким понятием будет базовая для группы тестов модель установки. Поясним это также на примере модели ВВЭР-1000. Заранее полученные малогрупповые библиотеки нейтронно-физических констант для динамического кода зависят от ряда параметров, поэтому объем такой информации велик и к тому же зависит от структуры кода. Приведенная модель установки допускает возможность использования при расчете теста различные константы: заданную при разработке данного теста библиотеку с учетом зависимостей от всех нужных параметров, заданные опорные точки для интерполяции библиотеки, и, наконец, собственную библиотеку констант для расчета (группы) теста(ов), подготовленную на основе предложенной модели установки. Таким образом, группа тестов может связать все указанные выше способы подготовки констант через модель установки. При этом результаты расчета разных тестов группы можно будет сопоставлять.

Это не единственный способ организации группы тестов. Ее можно организовать также через детальное описание библиотеки констант, т. е. представления зависимости малогрупповых сечений от выгорания, температуры топлива, температуры и плотности теплоносителя и т. д. Предельным случаем здесь является возможность использования одной и той же библиотеки для разных динамических кодов, имеющих отличающиеся по методике теплогидравлические части.

Следует понимать, что новая группа тестов потребует собственной модели установки, требующей отдельной разработки. Например,

представительный анализ аварии, состоящей в подаче конденсата в активную зону в результате ошибок в системе борного регулирования без срабатывания аварийной защиты, требует моделирования не менее часа реального времени работы установки. При этом является важным учет обоих контуров и некоторых систем безопасности. Разработка такой модели требует затрат определенных усилий.

Для группы тестов предлагается ввести общие требования, которые могут быть использованы различными специалистами.

Более детальные требования, например для объема результатов, получаемых в результате расчета, форматов и нормировок, возможности визуализации и т.д. могут быть введены для конкретных тестов.

Приводимые в приложениях несколько тестов образуют группу тестов для реактивных аварий. Они связаны моделью установки и двухгрупповыми константами. Они направлены на рассмотрение нейтронно-физических эффектов реактивных аварий. Для этого в обоих тестах используется модель активной зоны, а для теплогидравлической части задаются граничные условия на входе и выходе. Они получены из полномасштабного теплогидравлического расчета с использованием п/к РАДУГА, включающего оба контура циркуляции реактора ВВЭР-1000.

4. ПОНЯТИЕ КОДА РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ ТЕСТА.

Последнее замечание касается кода, по которому делается первая расчетная оценка теста. Как правило, другие расчетчики определяют отклонения интересующих их величин от предыдущих расчетов теста, поэтому в системе тестов должно содержаться описание кода в определенном объеме, таком, какой был представлен в нашем обзоре [1] для кодов РАДУГА и STEPAN. Это необходимо для объяснения возможных различий, возникающих в результате использования различных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей. Для кода, используемого для первого расчета теста необходимо привести краткие, но достаточные сведения по верификации и валидации и ссылку на имеющиеся материалы, а так же наличие официальной или любой другой экспертной оценки этих материалов. Это могут быть, например, сведения об аттестации кода в ГАН РФ. Сведения как по модели установки и так и по описанию кода первой оценки теста должны быть доступны расчетчику теста одновременно с формулировкой теста.

5. Рекомендации к информации по описанию группы тестов.

1. Название.

Должно быть дано название группы тестов. В название должно быть указано название реакторной установки.

2. Назначение.

В назначении должно быть указано назначение группы тестов:

- для верификации и валидации кодов
- для отработки сценариев аварийных режимов.

В данном пункте также следует указать наиболее широкий (охватывающий все остальные) класс кодов. Если указывается, что это коды для нестационарного совместного полномасштабного нейтронно-теплогидравлического расчета, то последующие пункты настоящих рекомендаций и описания тестов должны обеспечивать необходимый объем информации.

3. Сведения о модели реакторной установки.

Приводятся сведения о реакторной установке, которые необходимы для решения тестовых задач. Эти сведения могут содержаться в отдельном (ых) материале (ах). Эти сведения должны быть доступны одновременно с исходными данными теста. Например, они должны находится на одной странице в интернете.

4. Рекомендации по объему результатов расчета.

Рекомендуемый объем представляемой информации, полученный в результате расчета теста, должен быть достаточным для идентификации стационарного и нестационарных состояний реактора и рассчитываемых параметров, приводимых в первом (оценочном) расчете теста. Количество состояний и параметров может быть не более чем в оценочном расчете теста. В противном случае должны быть приведены сведения о коде в объеме, предусмотренном для кода оценки теста. В форматах для распределенных параметров, таких как потоки нейтронов, энерговыделения, поканальные расходы и т.п., следует привести отклонения от оценочного расчета.

5. Сведения о коде оценки теста.

Для расчетчика теста одновременно с исходными данными для расчета теста должны быть одновременно доступны данные по программе оценки теста в объеме, который приведен в отчете /1/ кодов РАДУГА и STEPAN . Подробные описания могут находится в описании тестов.

6. Рекомендации по оформлению тестовых расчетов.

1. Название теста
2. Источник теста и его назначение.

2.1. Описание и тип динамического процесса. Тип РУ. Дополнительные конкретизирующие сведения о процессе, такие как: ссылка на известный эксперимент, результаты которого опубликованы, известный инцидент и т.д. Сценарий аварийного режима следует привести подробно. Следует указать ориентировочное время прямого моделирования установки и основные упрощения в описании динамического процесса. Например, рассматривается только активная зона или первый контур.

- 2.2 Ссылка на описание модели установки.

Конкретные сведения о моделировании систем безопасности и их постулируемых отказах.

- 2.3. Требования к кодам для которых предназначен тест.
- 2.4. Описание кода оценки теста или ссылка на него. Сведения о верификации и валидации кода, отдельных его составляющих, известных экспертизах.
- 2.5. Перечисление основных величин, которые должны быть в нем получены.

3. Тестовая задача.

- 3.1. Название теста. Разработчик теста.
- 3.2. Сценарий процесса, предназначенный для расчета, и основные упрощения по сравнению с источником теста. Ссылка на модель установки и необходимые дополнительные сведения.
- 3.3. Код оценки теста. Ссылка на код оценки теста. Формулировка математической задачи теста, Необходимые дополнения к формулировке математической задачи и точное описание работы (моделирования) систем безопасности в качестве граничных, начальных и промежуточных условий задачи. Рекомендуемые замыкающие соотношения.
- 3.4. Описание исходных данных. Описание библиотек нейтронно-физических констант, таблиц и баз данных по свойствам материалов, стандартных исходных данных для установок, предлагаемых для расчета теста. Сведения об их представлении, условиях доступа, форматах.
- 3.5. Список рекомендуемых результатов расчета теста и их представления. При представлении результатов расчетов следует придерживаться следующего порядка (приоритеты для представления): представление параметров в специально разработанной модели для группы тестов, представление параметров, используемых при формулировке теста и в его оценочном расчете, представление параметров в формате предлагаемых для теста исходных данных, специально разработанные представления. Это относится к представлению параметров, их нормировке, картограммам и таблицам распределенных величин, нумерации органов регулирования и об"единению их в группы, точкам отсчета положения органов регулирования, уровня, длины, уклонов трубопроводов и оборудования и т.д.

4. Результат расчета тестовой задачи.

- 4.1 Название группы тестов, название теста, автор расчета теста.
- 4.2. Необходимые дополнительные сведения по сценарию процесса и модели установки, использованные в расчете.
- 4.3 Формулировка математической задачи теста, Необходимые дополнения к формулировке математической задачи по сравнению с формулировкой тестовой задачи. Используемые замыкающие соотношения.
- 4.4. Сведения о коде, используемом для расчета теста, его

верификации и валидации, наличие экспертиз и ссылки на соответствующие источники. Заключение автора расчета теста о различиях используемого кода и кода оценки теста.

- 4.5. Описание дополнительных исходных данных по сравнению с рекомендованными в описании теста и сведения о данных, которые заменяют рекомендованные. Сведения об их представлении, условиях доступа, форматах.
- 4.6. Список результатов расчета теста. Необходимые сведения о форматах представления результатов и других величин, если они отличаются от рекомендованных. Рекомендуется приводить результаты отклонений от результатов оценочного расчета теста с использованием таблиц, картограмм и форматов соответствующих величин. Рекомендуется привести сведения о способах использования визуальной информации.
- 4.7. Оценка расчетчиком теста отклонений от результатов расчетной оценки теста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. INSC. Report on coupled codes. Approaches and procedures for improvement. Joint project #2. Coupled neutronic - thermal hydraulic codes. Phase 1., 1997.
2. Benchmark Problem Book. ANL-7416.
3. 9. International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark. NEA/NSC/DOC (095) 03/II
4. Jon C.Wagnor et all MCNP: Criticality Safety Benchmark Problems LA-12415-M, 1982.
5. D.I.Whalen, D.A.Cardon, J.I.Uhle, J.S.Hendriecks: MCNP: Neutron Benchmark Problems LA 12212, Los Alamos, 1991.
6. A.N. Novikov etc. Problem of VVER in core fuel management IAEA, Vienna, December 4-7, 1989.
7. U. Grundmann, U. Rohde: "Definition of the Second Kinetic Benchmark of AER", Proceedings of the third Symposium of AER held in Piestany (Slovakia), 27.9.-1.10.1993.

ПРИЛОЖЕНИЯ (только на магнитном носителе)

1.Формулировка теста об аварии в системе борного регулирования реактора ВВЭР-1000.

2.Формулировка теста о подаче холодной воды в петлю охлаждения реактора ВВЭР-1000.