

СЕКЦИЯ № 2 «РАСЧЕТЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ГИДРОДИНАМИКИ, СВЯЗАННЫЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ, МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ И АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ»

О.Ю. Кавун, д.т.н., С.Н. Ложкин, к.т.н. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»),
С.Л. Соловьев, д.т.н. (АО «ВНИИАЭС»), Р.Л. Фукс, к.т.н. (АО «ДЖЭТ»),
Р.А. Шевченко, С.А. Шевченко, к.т.н. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

Введение

Даже короткого взгляда на перечень аттестованных за 25 лет программных средств достаточно, чтобы понять, что значительное число ПС (по данным на ноябрь 2016 г. – 88 ПС) проходило экспертизу в секции № 2 «Расчеты теплопередачи и гидродинамики, связанные нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты, моделирование нестационарных и аварийных процессов» экспертного Совета по аттестации ПС при Ростехнадзоре. Это и не удивительно, ведь фундаментальные и прикладные исследования теплогидравлики ядерных энергетических установок начались на заре ядерной энергетики и непрерывно продолжают проводиться и по сей день. Результаты этих исследований находят свое отражение в математических моделях и численных методах, применимых для анализов теплотехнической надежности ядерных установок, которые в свою очередь, реализуются в специализированных программных средствах.

Первым руководителем секции № 2 был Роман Львович Фукс. Вот, что он вспоминает о первых годах работы Совета и секции № 2:

«Когда мы начинали эту деятельность, а это были годы после чернобыльской аварии и образования независимого Госатомэнергонадзора, основной задачей для нас как надзорного органа было получение представления о том, что представляют из себя программные продукты наших Главных конструкторов, какая степень их обоснованности, какие заложены допущения и ограничения, и, в конечном счете, насколько можно доверять результатам расчетов, выполненных при моделировании аварии. Результаты такой деятельности нужны были для облегчения работы экспертов, оценивающих обоснования безопасности.»

На наших первых заседаниях, еще без привлечения специалистов других организаций, формировалась структура Совета и проговаривались первые идеи о том, как регулировать эту деятельность, первые положения о верификационном отчете и аттестационном паспорте. Судовлетворением можно отметить, что все это нашло отражение в современных нормативных документах.»

Потом была очень тяжелая работа с организациями. Специалисты из организаций бывшего Средмаша вдруг столкнулись с необходимостью что-то доказывать и объяснять какому-то вновь созданному и независимому от их министерства органу. Ведомственные амбиции зашкаливали. Только через продолжитель-

ное время, после завершения аттестации первых программ постепенно стало выработываться понимание того, что в Совете и его секциях находятся не просто представители своих фирм, а лучшие в отрасли специалисты.

Постепенно работа секций стала принимать тот характер, который задумывался с самого начала. Сейчас Совет - это сильный авторитетный орган, с которым все обязаны считаться, о котором наслышаны наши зарубежные заказчики, и который выполняет свою функцию, связанную с обеспечением безопасности объектов отрасли».

Вторым руководителем секции № 2 был Геннадий Сергеевич Таранов, а начиная с 2002 г. и по настоящее время секцией руководит Сергей Леонидович Соловьев. Однако успешную работу секции невозможно представить без Инны Рувимовны Уголевой, которая в начале совмещала должность заместителя председателя секции № 2 с должностью ученого секретаря, а затем и председателя экспертного Совета по аттестации ПС при Ростехнадзоре. Её высокие профессиональные навыки в области теплогидравлики, организаторские способности и обаяние помогали справляться с огромным объемом работы секции № 2 и решать самые сложные противоречия между экспертами и разработчиками ПС.

Под руководством И.Р. Уголевой были разработаны основные требования к обоснованию и верификации ПС (РД-03-34-2000), которые теперь используются как универсальные требования для всех ПС. Кроме того, И.Р. Уголева является соавтором двух руководств по безопасности при использовании атомной энергии «Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования водоохлаждаемых ядерных энергетических установок» (РБ-040-09) и «Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования ядерных энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем» (РБ-075-12). Эти РБ наиболее востребованы у специалистов, занимающихся разработкой, верификацией и применением программных средств, предназначенных для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии.

Ниже представлена основная информация об аттестации программных средств, проходивших экспертизу в секции № 2.

1. Первые шаги секции № 2

Первое ПС, проходившее экспертизу в секции № 2, было аттестовано в 1994 г. – это разработанное в АО «ОКБМ Африкантов» ПС Гидравлика, предназначенное для определения распределения давления и расходов в произвольной гидравлической сети в стационарной и нестационарной задачах (аттестационный паспорт № 30).

В 1995 г. были аттестованы два ПС, разработанных в ОКБМ для расчетов АСТ-500, АТЭЦ-150, ВПБЭР-600 – ПС «УРОВЕНЬ-МБ/3» и ПС «РАСНАР». При этом ПС РАСНАР позволяло моделировать нестационарные процессы в реакторной установке. Вторым значительным моментом в работе секции в 1995 г. стала аттестация ПС «BARS/COTT», предназначенного для расчетной оценки параметров стационарного состояния уран-графитового реактора РБМК-1000 в рамках информационной поддержки эксплуатации.

2. Программные средства для моделирования ВВЭР

В 1996 г. впервые аттестовано ПС, обеспечивающее моделирование динамических процессов в реакторных установках с ВВЭР, в котором использовалась

трехмерная модель активной зоны реактора – ПС «РАДУГА». Разработка программы началась в 80-х годах во ВНИИАМ, в 90-х переместилась в Атомэнергопроект, а в настоящее время продолжается в ФБУ «НТЦ ЯРБ» под руководством О.Ю. Кавуна.

Разработка ПС проводилась в условиях, когда отечественные коды фактически были вытеснены на обочину развития технологий математического моделирования динамики ЯЭУ в России. В начале 90-х российским специалистам был открыт доступ к зарубежным расчетным ПС, в рамках программы ICAP и группы «Термокод». Были получены такие ПС, как «RELAP», «TRAC», «CATHARE», «ATHLET» и другие. В связи с тяжелым экономическим положением в стране значительная часть интеллектуального потенциала отечественных научных организаций была брошена на освоение, внедрение, верификацию и совершенствование зарубежных ПС, так как эта деятельность активно финансировалась из-за рубежа. Взаимодействие со специалистами-расчетчиками со всего мира, знакомство с наилучшими зарубежными практиками по разработке и верификации ПС были крайне полезны. Однако создание отечественных ПС осталось фактически уделом нескольких групп ученых, искренне верящих в то, что российская атомная энергетика, имеющая собственные существенные научные достижения, не должна полностью зависеть от зарубежных расчетных технологий.

Среди этих групп в 90-е годы наиболее активными в разработке ПС, предназначенных для моделирования динамики РУ с ВВЭР в переходных и аварийных процессах, были уже упомянутые разработчики ПС «РАДУГА», специалисты АО «ОКБ ГИДРОПРЕСС», разрабатывавшие ПС «ТРАП», современная версия которого до сих пор является основным расчетным инструментом обоснования безопасности РУ с ВВЭР, а также команда НИТИ им А.П. Александрова во главе с Ю.А. Мигровым, разработавшая к концу 90-х годов системный код «КОРСАР».

Среди всей плеяды отечественных и зарубежных системных ПС именно ПС «РАДУГА» было первым признано соответствующим существовавшим тогда нормативным требованиям. При этом экспертиза ПС впервые проводилась силами сразу двух секций – № 1 «Нейтронно-физические расчеты» и № 2 «Теплогидравлические расчеты». 17 октября 1996 разработчики ПС «РАДУГА» получили аттестационный паспорт № 62. В 1999 г. были аттестованы основные составляющие ПС «ТРАП» ОКБ ГИДРОПРЕСС – ПС «ДИНАМИКА-97», «КАНАЛ-97» и «ТЕЧЬ-М-97» (аттестационные паспорта № 110, 111 и 112 от 02.09.1999). В 2003 г. к системным кодам, аттестованным для обоснований безопасности РУ с ВВЭР, добавились разработанное в НИТИ им. А.П. Александрова ПС «КОРСАР/В1.1» (аттестационный паспорт от 23.12.2003 №168) и разработанное совместно Курчатовским институтом и ОКБМ ПС «ТИГР-1» (аттестационный паспорт от 23.12.2003 № 169).

Следует подчеркнуть, что в этот период, ставший периодом установления конструктивных научных взаимоотношений между членами секции, большая заслуга принадлежит бывшему в то время председателем секции № 2 Г.С. Таранову. А завершение аттестации всех перечисленных выше программ стало поворотной точкой, после которой амбиции отдельных организаций (и их представителей в секции) бывшего Средмаша при аттестации ПС заменились действительно научным конструктивным взаимоотношением между членами секции.

В 2004 г. впервые для таких расчетов был аттестован зарубежный код «CATHARE 2-V1.3L» (аттестационный паспорт от 16.03.2004 № 171), разработанный во Франции совместно специалистами регулирующего органа (CEA), его организации научно-технической поддержки (IRSN), эксплуатирующей организации (EDF) и проектировщика реакторных установок (Ageva). По-настоящему впечатляет, что для разработки ПС удалось аккумулировать ресурсы как государства, в лице регулирующего органа, так и предприятий отрасли.

При верификации ПС «CATHARE 2-V1.3L» отечественные пользователи программы (в данном случае это были специалисты ВНИИАЭС) столкнулись с очевидной проблемой – программа изначально разрабатывалась и верифицировалась для французских реакторов и не в полной мере учитывала особенности отечественных реакторных установок. Поэтому в аттестационном паспорте программы записано следующее, довольно серьезное ограничение – «при оценке запаса до кризиса теплообмена в активной зоне ВВЭР необходимо проводить альтернативный расчет по кодам, верифицированным на экспериментальных данных, соответствующих геометрии ТВС ВВЭР».

Затем для расчетов ВВЭР было аттестовано ПС «RELAP5/MOD3.2» (аттестационный паспорт от 28.10.2004 № 180). Экспертиза этого ПС сопровождалась все теми же вопросами – как можно применять ПС, создававшееся для других типов реакторов, к обоснованию безопасности отечественных установок, ведь расчетные модели и замыкающие соотношения не всегда учитывают особенности ВВЭР, но и зачастую просто не доступны для анализа (не раскрываются разработчиком ПС в сопроводительной документации). При обсуждении вопроса об аттестации программы по требованию ОКБ «ГИДРОПРЕСС» в протоколе заседания секции от 12 мая 2004 г. № 25 была зафиксирована официальная позиция Генерального конструктора РУ с ВВЭР: «В настоящее время аттестовать зарубежные программы нецелесообразно». Однако в результате обсуждения секцией было принято решение о том, что представленные АО «ОКБМ Африкантов» и НИЦ «Курчатовский институт» результаты верификации ПС позволяют признать обоснованными применение ПС для расчетов ВВЭР с учетом ограничений области применения, отмеченных в аттестационном паспорте ПС.

Последним из зарубежных ПС для нейтронно-теплогидравлических расчетов было аттестовано немецкое ПС «ATHLET» (GRS), верификацию которого проводили специалисты Курчатовского института. При экспертизе этого ПС экспертом О.Ю. Кавуном были проведены сопоставительные расчеты, которые позволили обнаружить ошибку расчета коэффициентов теплопередачи для «горячих каналов» в геометрии, характерной для реакторов типа ВВЭР. В результате в ПС «ATHLET» (версия 2.1 A_A) включен набор корреляций теплоотдачи модуля «ALFA» (из ПС «ГРАП» ОКБ «ГИДРОПРЕСС»), который используется в ПС «ATHLET» при проведении консервативных расчетов проектных аварий с использованием в расчетной схеме «горячих каналов», моделирующих наиболее энергонапряженные твэлы.

Среди зарубежных ПС для проведения теплогидравлических расчетов, проводимых при обосновании безопасности, программа «RELAP», по-видимому, является наиболее удобной для пользователей ПС. Именно эта программа была верифицирована и аттестована для наибольшего числа различных типов реакторных установок – для РБМК, ЭГП-6 и ВК-50 (в настоящий момент специалистами

НИИАР проводится доработка верификационного отчета с учетом замечаний и рекомендаций экспертов) и, как было упомянуто выше, для ВВЭР.

Особое место среди ПС для обоснования безопасности АЭС с ВВЭР занимает ПС «СОКРАТ/В1» (ИБРАЭ РАН). Это единственное ПС, аттестованное для комплексного численного моделирования динамики физико-химических, теплогидравлических и термомеханических процессов, происходящих в реакторных установках при тяжелых запроектных авариях. ПС может использоваться для оценки основных параметров РУ, необходимых для расчетного обоснования безопасности, на внутрикорпусной стадии тяжелых запроектных аварий, включая аварии с плавлением топлива. В частности, ПС «СОКРАТ/В1» может использоваться для оценки источников водорода, массы и энергии воды и пара, параметров расплава активной зоны (кориума) и стали на внутрикорпусной стадии тяжелых запроектных аварий.

3. Программные средства для моделирования РБМК

Помимо упомянутого ранее ПС «BARS/COTT» для расчетного моделирования переходных и аварийных процессов в РУ с РБМК аттестовано ПС «RELAP5/MOD 3.2» (аттестационный паспорт от 23.05.07 № 226). ПС верифицировано для проведения расчетов стационарных (установившихся), переходных и аварийный режимом с потерей теплоносителя и/или нарушением теплоотвода от РУ. При этом в условиях действия аттестационного паспорта установлены ограничения применения ПС, вытекающие из результатов верификации. ПС нельзя использовать для расчетов режимов, приводящих к изменению геометрии КМПЦ, сопровождающихся интенсивной парциркуляционной реакцией, реактивных аварий. Кроме того, верифицировано без использования специализированной модели «повторного залива» и модели точечной кинетики (нейтронная мощность в активной зоне задается в виде таблиц, полученных по другим ПС). В настоящее время завершается экспертиза дополнительных верификационных материалов, основанных на результатах интегральных экспериментов на стенде ПСБ РБМК (АО «ЭНИЦ»).

Расчет технологических параметров активной зоны РБМК-1000 при осуществлении их контроля в процессе эксплуатации реакторной установки проводится с использованием аттестованного ПС «ПРИЗМА-М», которое, в том числе, рассчитывает критическую мощность технологического канала, температуру графита кладки, коэффициента запаса до предельно допустимой мощности ТК по кризису теплообмена и оперативный запас реактивности. Необходимо отметить, что программное обеспечение системы внутриреакторного контроля реакторов ВВЭР, которое выполняет схожие с ПС «ПРИЗМА-М» расчеты, до сих пор не аттестовано.

На энергоблоках РБМК первого поколения проведены мероприятия по восстановлению ресурсных характеристик графитовой кладки, при этом на некоторых энергоблоках наблюдается деформация геометрии технологических каналов. Все это необходимо учитывать при проведении расчетов критической тепловой мощности тепловыделяющей сборки РБМК-1000. Специалистами АО «НИКИЭТ» разработано ПС «ПУЧОК БМ-ДФ», которое позволяет рассчитывать критическую мощность топливных каналов реактора РБМК-1000 измененной геометрии, вызванной расширением канальной трубы и прогибом канала под воздействием условий эксплуатации (аттестационный паспорт от 24.06.2015 года № 372).

4. Программные средства для моделирования БН

Первое ПС, аттестованное для расчета переходных процессов в установках с реакторами на быстрых нейтронах (БОР-60, БН-600 и БН-800) было разработано в АО «ОКБМ Африкантов» – ПС «DIN 800» (аттестационный паспорт от 01.07.2004 № 176). ПС обеспечивает расчет РУ в режимах нормальной эксплуатации, в режимах нарушения условий нормальной эксплуатации, требующих экстренного перевода установки на пониженные уровни мощности, в том числе, с аварийным отводом тепла с помощью аварийных теплообменников, встроенных во второй контур.

В 2005 г. было аттестовано ПС «TANDEM», также разработанное в АО «ОКБМ Африкантов» (аттестационный паспорт от 26.05.2005 № 197). ПС позволяет проводить расчеты переходных процессов в режимах длительного расхолаживания со срабатыванием аварийной защиты с любого стационарного уровня мощности, связанных с полным отказом систем отвода тепла.

В 2011 г. аттестовано еще одно разработанное в АО «ОКБМ Африкантов» ПС для расчета переходных процессов в установках с реакторами на быстрых нейтронах – ПС «BURAN» (аттестационный паспорт от 14.04.2011 № 293).

В 2015 г. было аттестовано разработанное в ФЭИ ПС для расчета стационарных режимов в ТВС реактора на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем – ПС «MIF-2» (аттестационный паспорт от 18.03.2015 №). В отличие от перечисленных выше «DIN 800», «TANDEM» и «BURAN», которые позволяют рассчитывать мощность реактора, расход и температуру теплоносителя, температуру оболочки ТВЭЛ, ПС «MIF-2» обеспечивает расчет гораздо большего количества параметров, среди которых – максимальная азимутальная неравномерность температуры ТВЭЛОВ, в том числе периферийных.

5. Программные средства для моделирования процессов в защитных оболочках

Расчет параметров среды внутри защитных оболочек и систем герметичного ограждения является важной задачей обоснования безопасности ядерных установок. В результате таких расчетов, как правило определяются изменение во времени температуры и давления парогазовой среды в каждом помещении, а также изменение во времени концентраций компонентов парогазовой среды в каждом помещении. Для проведения таких расчетов аттестованы различные версии разработанного в ФЭИ ПС «КУПОЛ-М». Первая версия ПС была аттестована в 1998 г. (аттестационный паспорт от 04.05.1998 № 98). Версия 1.10 ПС была аттестована в 2005 г. (аттестационный паспорт от 23.06.2005 № 199) и позволяла при проведении расчетов учитывать работу таких систем, как САОЗ, спринклерная система, система аварийного удаления водорода, система вентиляции и предохранительные клапаны.

Затем, по мере выполнения дополнительных верификационных исследований, разработчиками ПС были обоснованы расчетные модели системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ ЗО) и барботажно-вакуумной системы локализации аварий для ВВЭР-440/213 (версия 1.10а аттестационный паспорт от 14 июля 2016 года № 397). В настоящее время экспертизу проходят результаты верификации ПС для проведения расчетов с учетом работы струйно-вихревого конденсатора.

В ПС «КУПОЛ-М» реализована математическая модель с сосредоточенными параметрами, поэтому вопросы выбора и детализации нодализационных

схем для моделирования конкретных установок требуют особого внимания. В соответствии с рекомендациями экспертов секции № 2 разработчиком ПС выпущено руководство по выбору и детализации нодализационных схем при проведении расчетов, учитывающих выраженное струйное течение водорода. Согласно условиям действия аттестационного паспорта ПС выполнение этих рекомендаций является обязательным при проведении расчетов в обосновании безопасности.

Специалистами ФЭИ и ОКБМ разработана специализированная версия ПС «КУПОЛ-МТ», которая предназначена для расчетов в защитных оболочках судовых и транспортабельных водо-водяных РУ. Расчетные модели ПС учитывают особенности этих реакторных установок, верификация моделей проводилась с использованием специализированной экспериментальной базы, имеющейся в распоряжении специалистов ОКБМ. Аттестацию ПС «КУПОЛ-МТ» планируется завершить в 2017 г.

Определение типа режима горения (дефлаграция или детонация), а также расчет временных зависимостей давления и импульсов давления в различных точках на стенах помещений защитных оболочек проводятся с использованием специализированных ПС, разработанных во ВНИИЭФ: ПС «LIMITS-V 1.0» (аттестационный паспорт от 16.12.2015 № 382) и ПС «FIRECON 1.0» (аттестационный паспорт от 16.12.2015 № 381).

В АО «Атомэнергопроект» разработано собственное ПС для моделирования процессов в защитных оболочках при различных условиях эксплуатации АЭС – ПС «АНГАР» (аттестационный паспорт от 29.09.2011 № 296). Однако верификация ПС «АНГАР» проведена в более узкой по сравнению с ПС «КУПОЛ-М» области. При расчетах с использованием ПС «АНГАР» учитывается работа только работы спринклерной системы, САОЗ, системы аварийного удаления водорода, система вентиляции и предохранительных клапанов.

6. Прочие программные средства

Помимо ПС, перечисленных в предыдущих разделах, специалисты секции № 2 проводили экспертизу ПС, предназначенных для:

- обоснования безопасности РУ ЭГП-6 (ПС «АТУ2»), РУ БОР-60 (ПС «ДИН-БОР»), РУ транспортного назначения (ПС «ЕСКМ-3Д», «КАНАЛ», «КРАТЕР», «Gidr-3М», «ЕСPPR2», «GARRIC 2.2»), РУ бассейнового типа (ПС «PRISET»), исследовательского реактора ВВР-М (ПС «ТФР»);
- расчета температурного состояния элементов конструкции, оборудования и трубопроводов («ANSYS», «ЗЕНИТ-95»), температурных полей в корпусах ТУК (ПС «CASK», «BERTRAN»);
- эксплуатационных расчетов размера дефектов в негерметичной ТВС (ПС «РТОП-КГО»).

В 2016 г. было аттестовано ПС «СМС» (АО «ДЖЕТ»), обеспечивающее численное моделирование динамики теплогидравлических процессов в технологических системах РУ в тренажерных расчетных комплексах АЭС с ВВЭР. Такое ПС не используется для обоснования безопасности, при этом оно должно обладать определенным быстродействием и полностью отражать все мельчайшие особенности конкретных энергоблоков. Поэтому для таких ПС в качестве исходных данных, необходимых для выполнения расчетов, используются исходные состояния моделируемого энергоблока, включающие в себя параметры нормальной эксплуатации

на номинальной или промежуточной мощности реакторной установки, а также параметры энергоблока в состоянии МКУ мощности, горячего и холодного останова, полученные из проектов и отчетов по обоснованию безопасности энергоблоков. При определении погрешности, обеспечиваемой ПС, учитывались положения стандарта СТО 1.1.1.01.004.0680–2006, в соответствии с которыми отклонения расчетных теплогидравлических параметров от базовых параметров состояния энергоблока, для температуры не должны превышать $\pm 1\%$, для остальных измеряемых параметров $\pm 5\%$. При этом результаты «классической» верификации ПС показали, что максимальные отклонения результатов расчетов основных теплогидравлических параметров (давления, температуры, расходы) от базовых значений в течение моделируемого процесса не превышают 35%. Особенности тренажерных ПС, а также опыт аттестации ПС «СМС», безусловно должны найти отражение при очередной актуализации требований к обоснованию и верификации ПС.

Помимо экспертизы ПС, предназначенных для решения привычных теплогидравлических задач, специалистам секции приходилось сталкиваться с оценкой достаточно экзотических ПС. Например, в 2015 г. было аттестовано разработанное в АО «Атомпроект» ПС «FOREST 1.0» (аттестационный паспорт от 17.04.14 № 353), предназначенное для расчета параметров лесных пожаров, пожаров нефтепродуктов, взрывов и выбросов поллютантов, выделяющихся в процессе горения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все 88 ПС, прошедшие через секцию № 2 «Расчеты теплопередачи и гидродинамики, связанные нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты, моделирование нестационарных и аварийных процессов» Совета и в последствие успешно аттестованные не просто описать в одной статье.

Основной задачей настоящей статьи было отметить наиболее яркие эпизоды в деятельности секции и обозначить вехи в завершенных секцией работах по направлениям, связанным с основными типами эксплуатируемых в настоящее время отечественных реакторов.

Надеемся, этот материал станет важным свидетельством того, как развивалась разработка программных средств, предназначенных для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии, и как при этом функционировала система аттестации этих ПС, а также подчеркнет роль и значимость для безопасного использования атомной энергии всех специалистов, когда-либо принимавших участие в деятельности секции № 2 Совета.

Не смотря на внушительный перечень прошедших через секцию № 2 ПС, далеко не все вопросы расчетных обоснований безопасности могут быть решены с применением аттестованных ПС. Например, до сих пор нет ни одного аттестованного ПС, реализующего методы вычислительной гидродинамики (так называемые CFD коды), нет аттестованных ПС, предназначенных для анализов безопасности РУ с ТЖМТ, таких как БРЕСТ и СВБР, не для всех типов РУ есть аттестованные ПС для моделирования тяжелых аварий и т.д. Все это позволяет с уверенностью утверждать, что у секции № 2 будет много работы в ближайшем будущем.

