

СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ АТТЕСТАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

*С.Н. Богдан, к.т.н., О.М. Ковалевич, д.т.н., А.А. Хамаза,
С.А. Шевченко, к.т.н.
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»)*

1. Аттестация программных средств как основа обоснования безопасности объектов использования атомной энергии

Расчётное моделирование переходных процессов и аварий, потенциально возможных при эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), является необходимым элементом обоснования ядерной и радиационной безопасности таких объектов. Разрабатываемые для этих целей программные средства (ПС) требуют проведения большого круга исследований с целью обоснованности использования реализованных в ПС расчетных методов и методик. В странах с развитой ядерной энергетикой органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии предусматривается обязательная оценка применимости (экспертиза) таких ПС [1], которую проводят либо специалисты самого органа государственного регулирования, либо специалисты организации научно-технической поддержки, формулирующие по итогам экспертизы выводы об области и условиях применимости того или иного ПС. Такой подход соответствует требованиям стандарта МАГАТЭ GS-G-1.2 «Рассмотрения и оценки, проводимые регулирующим органом для ядерных установок» [2].

Вплоть до второй половины 80-х годов прошлого века специалисты Госатомнадзора СССР при оценке ПС могли руководствоваться только требованиями государственных стандартов. Однако действовавшие в то время ГОСТы (например, [3]) устанавливали требования в основном к потребительским качествам ПС (простота освоения, удобство применения, быстродействие, надежность и т.д.), оставляя в стороне требования к реализуемым в ПС расчётным моделям, используемым для решения научных и инженерных задач. Современные стандарты, например, [4], тоже не дают ответа на вопрос – как доказать способность ПС адекватно моделировать поведение таких сложных объектов, как ОИАЭ. Острота этого вопроса многократно усилилась после Чернобыльской аварии. При этом в атомной отрасли сложилось понимание того, что регулирующий орган совместно с ведущими специалистами научных и проектно-конструкторских организаций отрасли, должен оценивать и признавать возможность использования ПС при обосновании безопасности, для чего и была в 1991 г. создана система аттестации ПС [5].

Ныне действующий порядок экспертизы и аттестации ПС установлен в [6]. Этот порядок представляет собой регламентированную процедуру, состоящую в признании применимости программного средства в заявленной области, включая получение значений расчетных параметров с определенной погрешностью.

В целях экспертизы и аттестации ПС при Ростехнадзоре действует экспертный Совет по аттестации ПС, задачей которого является оценка и формирование выводов об области применения и условиях применимости ПС. Задачи по организации работы Совета возложены на ФБУ «НТЦ ЯРБ», имеющего статус организации научно-технической поддержки Ростехнадзора, что обеспечивает выполнение принципа независимости экспертных оценок в рамках регулирования безопасности. В структуре экспертного Совета функционируют тематические секции по следующим направлениям: нейтронная физика, теплогидравлика, радиационная безопасность, химия, прочность, сейсмостойкость. В работе Совета принимают участие высоко квалифицированные специалисты от 42 научных и технических организаций, включая предприятия ГК «Росатом», национальные исследовательские центры, ведущие высшие учебные заведения, институты Российской академии наук. Всего в состав Совета и его секций входит более 200 специалистов, в их числе 60 докторов наук и свыше 100 кандидатов наук.

Подбор состава специалистов для экспертизы ПС проводится с учетом рекомендаций тематических секций Совета. Процедура аттестации ПС предполагает открытое обсуждение результатов экспертизы ПС на заседаниях Совета и его тематических секций. Такое коллегиальное обсуждение квалифицированными специалистами позволяет в максимальной степени избежать субъективных оценок. В том случае, если разработчик ПС считает то или иное замечание эксперта не обоснованным, рассмотрение замечания обязательно выносится на обсуждение тематической секции Совета и, если тематическая секция не может прийти к единому мнению, обсуждение выносится на заседание Совета. Таким образом, решение принимается с учетом мнения научно-технического экспертного сообщества, что делает процедуру аттестации ПС максимально свободной от субъективизма.

Таким образом, экспертиза и аттестация ПС – это результат совместной деятельности лучших специалистов-расчетчиков атомной отрасли. Результат этой работы – 404 аттестационных паспорта (по состоянию на 15 октября 2016 г.), в которых установлена область применения ПС и погрешность расчетов, обеспечиваемая ПС.

При экспертизе и аттестации ПС подлежат оценке все компоненты, определяющие необходимое качество ПС, а именно:

- принятая разработчиком расчетная модель как совокупность физической и математической постановки расчетной задачи, в виде используемых уравнений, эмпирических или полуэмпирических замыкающих соотношений, свойств материалов (валидация);
- собственно ПС как инструмент для реализации принятой модели математического решения задачи (верификация);

- погрешность (неопределенность) параметров, получаемых в результате расчёта по ПС.

Основные этапы экспертизы и аттестации ПС приведены на рис. 1. Сроки экспертизы и аттестации ПС зависят от сложности ПС и, соответственно объемов обоснования применимости ПС. Например, специалисты NRC проводили экспертизу ПС ARCADIA (моделирование поведения активной зоны реакторов PWR) почти три года. В России экспертиза и аттестация «хорошо подготовленных» ПС осуществляется в течение нескольких месяцев, в то время как аттестация «плохо подготовленных» ПС может растянуться на несколько лет. Все зависит от качества подготовки верификационного отчета разработчиком ПС.

Если верификационный отчет разработан с учетом всех нормативных требований, то есть (1) представлено полное описание расчетной модели ПС, (2) проведен весь комплекс экспериментов, подтверждающих пригодность расчетной модели применительно к реальному объекту и (3) проведенное тестирование ПС подтверждает отсутствие ошибок в программировании, то экспертиза и аттестация ПС проходит быстро, так как не возникает необходимости в доработке верификационного отчета ПС по замечаниям экспертов.

Результаты оценки применимости ПС отражаются в аттестационном паспорте, содержащем сведения о назначении, области применения, и о погрешностях результатов расчета. Информация о ПС, приводимая в аттестационных паспортах, учитывается при экспертизе безопасности ОИАЭ, проводимой в рамках процедуры лицензирования.

Срок аттестационного паспорта ПС ограничен 10 годами. При этом по истечении этого срока проводится анализ опыта использования ПС при обоснованиях безопасности, а также оценка соответствия ПС современному уровню развития науки техники и производства. В случае необходимости, ПС дорабатываются, проводится дополнительная верификация, подтверждающая их применимость для проведения расчетов с учетом текущих особенностей состояния ОИАЭ, а также с учетом новых актуальных экспериментальных данных, полученных за прежний период действия аттестационного паспорта.

Требования о необходимости использования только аттестованных ПС при обосновании безопасности содержится в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии. Перечень этих нормативных документов размещен на официальном сайте ФБУ «НТЦ ЯРБ» в сети Интернет по адресу <http://www.secnrs.ru/expertise/software-review>. Требования к обоснованию и верификации ПС установлены в [7], дополнительные рекомендации по обоснованию ПС приведены в [8] – [11].

Всего (начиная с 1991 г.) было выдано свыше 400 аттестационных паспортов на ПС. По состоянию на октябрь 2016 г. действующие аттестационные паспорта имеют 213 ПС, их перечень размещен на сайте ФБУ «НТЦ ЯРБ». Количество проведенных заседаний экспертного Совета по аттестации ПС и его тематических секций, а также количество ПС, аттестованных в период с 2011 по 2015 год, приведены на рис. 2.

**Совет по аттестации программных средств при Ростехнадзоре
25 лет на службе безопасности**



Рис. 1. Основные этапы процедуры экспертизы и аттестации ПС

Состояние и развитие системы аттестации программных средств



Рис. 2. Динамика работы Совета по аттестации ПС и его тематических секций

2. Проблемы и возможные пути совершенствования аттестации программных средств

Признанные специалистами атомной отрасли результаты функционирования системы аттестации ПС не снимают необходимости её дальнейшего совершенствования.

2.1 Проблемы оценки комплексных программных средств

Расчётный анализ безопасности энергоблока АЭС с ВВЭР содержит исследование различных переходных режимов и аварий с полусотней исходных событий. Анализ большинства из них включает последовательность тех или иных физических процессов и явлений по таким тематическим направлениям, как нейтронная физика, тепло- и гидродинамика, прочность оборудования и строительных конструкций, распространение радиоактивных продуктов деления и излучений и другие. Анализ многих аварий требует одновременного совместного решения расчетных задач с развитием разноплановых процессов с сильной зависимостью одного процесса от параметров другого.

Разработка ПС с одновременным решением нейтронно-физических, теплогидравлических, прочностных и физико-химических задач привела к естественным трудностям при верификации таких ПС: где взять такие экспериментальные данные, которые обладали бы достаточным уровнем качества и при этом охватывали бы все упомянутые выше процессы на одной экспериментальной установке? Выполняемый при помощи комплексных ПС расчетный анализ процессов, разных по своей физической природе, протекающих совместно или последовательно со сложными зависимостями друг от друга, ставит задачу по разработке дополнительных критериев оценки адекватности таких комплексных ПС. При этом может возникнуть необходимость использования в разных комплексных ПС одних и тех же тематических блоков или модулей (например, модуль расчета изменения мощности при определённых воздействиях на реактивность). Вероятно, следует подумать о создании *стандартных расчётных блоков* для моделирования отдельных процессов, включённых в систему аттестации в виде соответствующих стандартных ПС с необходимым стандартным набором входных и выходных связей с другими ПС.

2.2 Погрешности и неопределённости расчетов

Говорить о полной обоснованности безопасности АС при авариях можно только представляя себе масштаб погрешностей и неопределённостей получаемых

результатов расчёта таких аварий. Хотя требования к ПС предполагают обязательную оценку величины погрешности получаемых результатов расчетов, о сложившемся едином понимании относительно того, что называть погрешностью такого сложного инструмента как ПС, моделирующее реальную систему на основе принятой модели, говорить не приходится. Каждый разработчик ПС предлагает свой математический подход к оценке погрешности, а эксперты секции решают соглашаться с ним или нет.

Адекватность реализуемой в ПС модели можно оценить из результатов верификации – на основе фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований. Аттестуемые ПС описывают реальные системы системой интегродифференциальных уравнений с набором констант и замыкающих соотношений, которые также известны с неопределённостью. Распространённый подход к анализу чувствительности как реакции одного из рассчитываемых выходных параметров на относительное отклонение одного из входных параметров не даёт возможности однозначно говорить о неопределённости показателей всего описываемого процесса. Разные параметры, рассчитываемые по одному ПС, могут иметь разные неопределённости в разных точках по объёму и в разные моменты времени. Вообще, величина погрешности результатов расчёта есть вероятностная величина из-за вероятностного характера входных данных и имеет некое распределение плотности вероятности. Имея такое распределение, можно было бы говорить о вероятности выполнения защитной функции системами безопасности. Используемые в расчётах допустимые (предельные, ограничивающие) параметры, получаемые независимо, тоже имеют вероятностный характер.

Целесообразность при обосновании безопасности АС анализировать и предъявлять дополнительные требования относительно вероятности выполнения защитных функций системами безопасности отражена в новой редакции НП-001-15 [12], согласно п. 1.2.9 которого анализы безопасности должны сопровождаться оценками неопределённостей получаемых результатов. То есть, кроме анализа надёжности срабатывания систем безопасности, в отчетах по обоснованию безопасности должны учитываться неопределённости входных данных и неопределённости принимаемых ограничивающих параметров.

Все это свидетельствует о необходимости разработки нормативных требований, устанавливающих единый подход к оценке погрешностей и неопределённостей расчетов.

2.3 Создание единой отраслевой базы оцененных экспериментальных данных, рекомендованных для верификации ПС

Отсутствие единой отраслевой базы экспериментальных и расчетных данных, рекомендованных для верификации ПС, является одной из причин низкого качества верификационных отчетов ПС.

В архивах ФБУ «НТЦ ЯРБ» собраны все верификационные отчеты тех ПС, которые успешно прошли аттестацию. Созданию на основе информации из этих отчетов отраслевого банка рекомендованных экспериментальных и расчетных данных препятствуют лишь юридические ограничения, связанные с правообладанием этих данных. Однако при поддержке предприятий атомной отрасли эти ограничения можно было бы преодолеть.

2.4 Проблема квалификации пользователей ПС

Конечным бенефициаром создания, верификации и аттестации ПС прежде всего является его *пользователь* – расчетчик, выполняющий моделирование конкретных объектов. Качество выполняемых расчетов определяется адекватным пониманием *пользователем* ограничений области применения ПС, а также корректным проведением расчётов. В значительной степени это определяется взаимодействием между *пользователем ПС и его авторами* через руководства по применению программ, описания расчетных моделей ПС, а также через отчеты о верификации ПС. Хотя в аттестационном паспорте ПС указываются организации, специалисты которых прошли обучение по применению программы, оценка реальной квалификации пользователей остается в сфере ответственности держателя аттестационного паспорта ПС. Вопросы, касающиеся возможных путей снижения негативного эффекта пользователя на результаты расчетов, обсуждаются в других статьях, опубликованных в настоящем сборнике.

2.5 Особенности программных средств управляющих систем и тренажерных комплексов

При разработке новых проектов АЭС существенное место занимает процесс проектирования систем управления, как автоматических, так и автоматизированных. Современное развитие цифровых управляющих систем АСУ ТП позволяет создавать алгоритмы управления технологическими процессами на АЭС на порядки более сложные, чем алгоритмы, применявшиеся при аналоговых средствах управления. На повестку дня встает необходимость проверки разрабатываемых алгоритмов управления на этапе проектирования с применением специализированных ПС. В настоящее время уже разработаны ПС для проверки алгоритмов управления, как отечественные (МВТУ-4.0), так и зарубежные (Simulink, Labview, СИНТАР).

Поскольку эффективность функционирования управляющих систем в значительной степени определяется надежностью комплектующих технических средств, вся контролирующая деятельность за обеспечением качества таких систем, включая ПС, входящие в эти системы, в настоящее время ведётся в рамках оценки соответствия [13], в том числе сертификации [14]. При этом действующая процедура оценки соответствия оставляет без оценки неопределённости получаемых с помощью ПС результатов. Подключение системы аттестации ПС к анализу и оценке математического обоснования алгоритмов действия управляющих систем потребует создания определённого взаимодействия обеих структур. Возможно проблему поможет решить создание новой секции Совета, которая бы занималась вопросами верификации и математического обоснования алгоритмов действия управляющих систем, а также верификации ПС, используемых для проектирования управляющих систем.

Особое место занимает вопрос адекватности моделей технологического оборудования и управляющих систем, используемых в полномасштабных тренажерах, применяемых для обучения оперативного персонала управления. Такие ПС верифицируются в соответствии с требованиями отраслевого стандарта на технические средства обучения. Стандарт не требует выполнения анализа неопределённости используемого ПС. Однако тренажерные ПС работают в рамках широкого спектра граничных параметров и исходных состояний, в них используются замыкающие соотношения того же класса и пределов применения, что и в ПС, используемых для

обоснования безопасности. Критерием оценки качества ПС в соответствии со стандартом является отклонение расчетных параметров от базовых параметров состояния энергоблока, взятых из проекта или отчета по обоснованию безопасности энергоблока. То есть требования [7] к верификации ПС, заключающиеся в сопоставлении результатов расчетов с локальными и интегральным экспериментами, для тренажерных ПС не согласуются с положениями указанного стандарта. По-видимому, особенности обоснования тренажерных ПС должны найти отражение при очередной актуализации документа.

2.6 Разделение программных средств на предназначенные и непредназначенные для обоснования безопасности

Первоначальной задачей аттестации ПС была оценка возможности использования ПС для обоснования безопасности. В противном случае ПС не подлежало аттестации. Однако в [7] ПС делятся на две группы:

- предназначенные для обоснования безопасности (для таких ПС должна быть обоснована степень консерватизма результатов расчетов),
- предназначенные для проектных расчетов (для этих ПС должны быть обоснованы погрешности определения расчетных параметров).

Мотивировалось такое разделение ПС потребностью иметь ПС для оценочных и вариантных расчётов. Наличие аттестованных программ с разным статусом, кстати недостаточно определённым, может стать источником путаницы. Не ясно, кто будет отслеживать использование ПС второго вида. Регулирующему органу и его экспертам вряд ли до этого будет дело.

2.7 Оптимизация организационной структуры

Не смотря на достигнутые результаты в системе аттестации ПС, не весь диапазон задач, требующих расчётного обоснования, охвачен аттестованными ПС. Наиболее существенной проблемой является отсутствие согласованной программы заинтересованных организаций по разработке и верификации ПС. Представляется целесообразным иметь некоторую структуру из заинтересованных организаций, формирующую для разработчиков ПС задачи, необходимость решения которых вытекает из современных требований к обоснованию безопасности. Подобные функции выполнял в Минатоме созданный в конце 90-х годов Отраслевой центр разработки кодов (ОЦРК). По-видимому, решение о его закрытии было преждевременным.

2.8 О необходимости оказания содействия зарубежным органам регулирования безопасности в использовании российских программных средств

Органы регулирования безопасности стран, выступающих заказчиками сооружения АЭС по российским проектам, сталкиваются как с проблемой отсутствия альтернативных ПС, необходимых для проведения проверочных расчетов, так и с проблемой квалификации персонала при использовании таких ПС. Однако доступ специалистов зарубежных органов регулирования к российским программным средствам ограничен из-за отсутствия соответствующего механизма.

При этом регулирующие органы стран с развитой ядерной энергетикой и их организации научно-технической поддержки, прежде всего NRC (США), IRSN (Франция), GRS (Германия), распространяют свои программные средства через банки данных NEA Databank (OECD), RSICC (DOE и ORNL, США) и Nuclear code center (RIST, Япония), а также в рамках двусторонних соглашений.

Необходимо создать организационно-правовой механизм, обеспечивающий доступ к российским ПС, которые могут быть использованы специалистами органов регулирования стран-новичков. Это позволит укрепить их национальные системы регулирования ядерной и радиационной безопасности, а также повысить конкурентоспособность продукции и услуг Госкорпорации «Росатом» на международном рынке.

Наиболее целесообразной и удобной организационной формой доступа к российским ПС представляется банк данных, по аналогии с уже упомянутыми NEA Databank, RSICC и Nuclear code center. При этом главной движущей и организационной силой этой структуры могли бы стать экспертный Совет по аттестации ПС и ФБУ «НТЦ ЯРБ», ведь именно в их руках собрана информация о разработанных отечественных ПС для атомной отрасли.

2.9 Распространение опыта аттестации ПС на область регулирования промышленной безопасности

Естественно, что расчётными методами и программными средствами пользуются во многих отраслях. Накапливаемый опыт регулирования этого процесса в области использования атомной энергии и имеющийся опыт в других отраслях побуждает задуматься об обмене опытом и объединении усилий.

В журнале «Безопасность труда в промышленности» опубликована статья [15] специалистов ЗАО «НТЦ ПБ» и АНО «Агентство исследований промышленных рисков», в которой обсуждаются вопросы оценки применимости ПС, используемых при обосновании промышленной безопасности. Авторы статьи указывают на недостаточность механизма добровольной сертификации ПС, применяемых для обоснования промышленной безопасности как единственного механизма оценки таких ПС. Стоит отметить, что авария на Саяно-Шушенской ГЭС показала острую необходимость в совершенствовании не только безопасности эксплуатации, но и методов регулирования промышленной безопасности, которые в том числе реализуются через механизм оценки расчетных методов, применяемых при проектировании, конструировании и обосновании безопасности промышленных объектов. К сожалению, из материалов статьи вытекает неутешительный вывод о том, что система экспертной оценки ПС промышленной безопасности находится на том же уровне, на котором находилась аналогичная система Госатомнадзора после Чернобыльской катастрофы: понятных критериев оценки нет, а непосредственно сам механизм оценки только формируется.

Имеются случаи обращения в ФБУ «НТЦ ЯРБ» за аттестацией ПС, предназначенных для использования вне атомной отрасли, это свидетельствует о признании эффективности созданной системы оценки ПС. Очевидно, что большинство процессов в потенциально опасных производствах описываются одними и теми же классическими интегрально – дифференциальными уравнениями. В основе описания процессов при использовании атомной энергии, кроме специфической ядерной физики, лежат положения канонических теорий переноса, горения, термодинамики и теплопередачи, гидродинамики, прочности и другие. При столь широком охвате тематик в атомной отрасли пересечение интересов по развитию методов расчёта с другими направлениями техники неизбежно и требует внимания к практическому, а не академическому сотрудничеству. Еще одной точкой сближения при возможной координации усилий в атомной и промышленной безопасности может стать

упомянутая выше идея создания стандартных расчётных модулей, которая может реализоваться и в межотраслевом масштабе.

Действующая в системе Ростехнадзора процедура аттестации ПС, применяемых при обосновании безопасности ОИАЭ, могла бы стать основой формирования единой государственной политики в отношении оценки ПС, применимых при обосновании и обеспечении безопасности опасных промышленных производств. Это позволило бы связать различные действующие системы оценок ПС, например, систему аттестации справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, действующую в Госкорпорации Росатом [16]; систему аттестации ПС в строительстве и архитектуре, существующую в Российской академии архитектуры и строительных наук; систему аттестации программного обеспечения средств измерений [17].

В процессе разработки и экспертизы ПС, при формировании и оценке сценария описываемого процесса разработчик и эксперт так или иначе учитывает требования нормативных документов по обеспечению безопасности. С этой стороны предложение об объединении усилий по разработке и аттестации ПС по обоснованию безопасности в разных отраслях приводит к необходимости создания некоего общего подхода в нормативных документах верхнего уровня к обеспечению безопасности потенциально опасных производств [18], аналогичному в атомной энергетике. Такие предложения были после аварий на Саяно-Шушенской ГЭС и Невском экспрессе [19].

Заключение

Одна из важнейших задач Ростехнадзора – убедиться в безопасности объектов использования атомной энергии. Расчётное моделирование переходных процессов и аварий, потенциально возможных при эксплуатации объектов использования атомной энергии, является необходимым условием обоснования ядерной и радиационной безопасности таких объектов. Разрабатываемые для этих целей ПС представляют собой математические модели (интегро-дифференциальные уравнения, эмпирические корреляции, замыкающие соотношения, нодализационные схемы, константы и т.д.), описывающие реальные объекты. Но любая математическая модель не способна отразить все особенности рассчитываемого объекта, то есть даже самый совершенный расчётный алгоритм будет справедлив только в определенной области применения. Именно поэтому разработчик ПС проводит широкий спектр расчетно-экспериментальных научных исследований, направленных на обоснование применимости программы для моделирования реального объекта. Эту процедуру принято называть верификацией ПС. Результаты верификации ПС являются предметом экспертизы, которая должна подтвердить, что верификация проведена в соответствии с установленными требованиями. Успешная экспертиза завершается оформлением свидетельства (аттестационного паспорта ПС), в котором приводятся подтвержденные результатами экспертизы сведения об области применения ПС и погрешностях расчетов. Эту процедуру принято называть аттестацией ПС.

Проводимая при аттестации глубокая и всесторонняя оценка применяемых для анализов безопасности расчетных методов и ПС является необходимой составляющей оценки безопасности использования атомной энергии. Кроме того, аттестуемые ПС, как правило, опираются на современные научные и технические разработки, тем самым система аттестации ПС отражает распространённое требование

нормативных документов о *применении проектных технических решений, основанных на современном уровне развития науки и техники*. Именно через современные аттестованные ПС можно судить о достаточном уровне обеспечения безопасности ОИАЭ.

Литература

1. Богдан С.Н., Шевченко С.А. О подходах регулирующих органов стран с развитой ядерной энергетикой к верификации и признанию обоснованности применения программных средств при обосновании безопасности ОИАЭ. – Ядерная и радиационная безопасность, № 4(70), 2013.
2. GS-G-1.2. Рассмотрения и оценки, проводимые регулирующим органом для ядерных установок/Серия норм безопасности – Вена, МАГАТЭ, 2004.
3. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения. - М.: Изд-во стандартов, 1989.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. - М.: Изд-во стандартов, 2010.
5. Временное положение об аттестации программных средств, используемых при обосновании безопасности объектов атомной энергетики. – М.: НТЦ ЯРБ. 1991.
6. РД-03-33-2008. Инструкция об организации проведения экспертизы программных средств, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии. - М.: НТЦ ЯРБ, 2008.
7. РД-03-34-2000. Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии. – М.: НТЦ ЯРБ, 2000.
8. РБ-061-11. Положение о проведении верификации и экспертизы программных средств по направлению "Нейтронно-физические расчеты". – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2011.
9. РБ-074-12. Положения о рекомендациях по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2012.
10. РБ-040-09. Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования водоохлаждаемых ядерных энергетических установок. – М.: НТЦ ЯРБ, 2009.
11. РБ-075-12. Расчетные соотношения и методики расчета гидродинамических и тепловых характеристик элементов и оборудования ядерных энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2012.
12. НП-001-15 Общие положения безопасности атомных станций. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2015.
13. Об особенностях оценки соответствия продукции, для которой устанавливаются требования, связанные с обеспечением безопасности в области использования атомной энергии, а также процессов ее проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения: постановление Правительства Российской Федерации от 15 июня 2016 г. № 544.

14. РБ-004-98. Требования к сертификации управляющих систем, важных для безопасности атомных станций. – М.: НТЦ ЯРБ, 1998.
15. Агапов А.А., Агапова Е.А. Сертификация и верификация программных средств// Безопасность труда в промышленности. - 2015. - №4. - с. 58 – 60.
16. О создании постоянно действующей Межведомственной комиссии по аттестации справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в различных тематических направлениях атомной науки, техники и технологии: приказ Федерального агентства по атомной энергии от 23.05.2007 № 269.
17. МИ 2955–2010. Типовая методика аттестации программного обеспечения средств измерений. – М.: ФГУП «ВНИИМС», 2010.
18. О.М. Ковалевич. Безопасность в техногенной сфере. – М.: Изд-во МЭИ, 2011.
19. О.М. Ковалевич. Чернобыль и Саяно-Шушенская ГЭС: что ведет к катастрофе. - <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=1985>

