

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Курындина Антона Владимировича «Информационная система поддержки принятия регулирующих решений при транспортировании ОЯТ реакторов типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Начатый на рубеже двух тысячелетий переход существующих энергоблоков российских АЭС с реакторами типа ВВЭР на новые топливные циклы, характеризующиеся существенно улучшенными экономическими показателями, обусловлен объективными факторами: хорошо обоснованной возможностью существенного (до 30 лет) продления срока эксплуатации этих энергоблоков за пределы первоначально назначенного проектом; высокой стоимостью сооружения новых энергоблоков; необходимостью поддерживать конкурентоспособность российских ядерных энергетических технологий на рынках развивающихся стран в условиях, когда страны с развитой ядерной энергетикой (ЯЭ) постоянно повышают экономические показатели за счет совершенствования топливных циклов уже существующих реакторных установок. Целью совершенствования топливных циклов является повышение полной энерговыработки на одну тепловыделяющую сборку (ТВС), что достигается повышением глубины выгорания ядерного топлива (ЯТ) с одновременным увеличением суммарного времени топливных кампаний ТВС в топливном цикле.

Переход на перспективные топливные циклы повышает эффективность использования природного урана (за счет увеличения доли наработанного в облученном ядерном топливе плутония и его последующего вовлечения, без регенерации на предприятиях ядерного топливного цикла, в энерговыработку), снижает технологическую (обусловленную высокой стоимостью производства ТВС), капитальную и эксплуатационную составляющие себестоимости выработанной энергии. Кроме того, такой переход повышает общий уровень безопасности ядерной энергетики в результате снижения удельной (на единицу выработанной энергии) нагрузки на предприятия по регенерации ОЯТ и объема обрабатываемых РАО.

Однако для обеспечения бесперебойной и безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС необходимо наличие определенной инфраструктуры объектов по обращению с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), относящихся как к внутристанционному, так и внешнему ядерному топливному циклу (ЯТЦ). К ним, прежде всего, относятся уже существующие станционные хранилища ОЯТ (бассейны выдержки БВ) и средства транспортирования отработавших ТВС (ОТВС) с АЭС на предприятия по регенерации ОЯТ (транспортные упаковочные комплекты ТУК, вагоны-контейнеры ВК), которые не рассчитаны на переход АЭС на перспективные ЯТЦ. Необходимое для такого перехода обновление этой инфраструктуры, иногда физически невозможное (например, увеличение вместимости БВ существующих энергоблоков АЭС), требует значительных капитальных затрат, сопоставимых (в целом на страну) со стоимостью сооружения одного-двух новых энергоблоков.

Поэтому до или одновременно с реализацией столь значимых в масштабах ЯЭ страны решений следует обеспечить возможность максимально эффективного использования уже существующей инфраструктуры обращения с ОЯТ (прежде всего, имеющегося парка ТУК и ВК) без снижения достигнутого уровня ядерной и радиационной безопасности соответствующих видов деятельности. Необходимо обоснованно определить и полностью реализовать «скрытые» резервы объектов этой инфраструктуры, заключающиеся в значительных «запасах по безопасности», изначально консервативно предусмотренных при их конструировании. Сделать это можно путем усовершенствования методического обеспечения обоснования безопасности транспортирования ОТВС (в том числе в ТУК двухцелевого назначения) таким образом, чтобы приемлемым образом снизить излишнюю избыточность консерватизма в результате повышения достоверности расчетов как для существующих, так и для перспективных ТУК.

В связи с отмеченным, не вызывают сомнений актуальность и практическая значимость темы диссертационной работы, направленной на решение именно этой задачи, но применительно к области компетенции органа государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности (Ростехнадзора), который должен обладать возможностью безошибочно оценивать корректность и достоверность обоснований безопасности транспортирования ОЯТ, подготовленных отраслью. При этом такие оценки, по сложности их выполнения, практически эквивалентны процедуре обоснования. Автором диссертационной работы определен способ решения этой задачи – создание для Ростехнадзора специального расчетного инструментария в виде информационной системы поддержки принятия регулирующих решений (ИС) при транспортировании ОЯТ реакторов различных типов.

Научная новизна в диссертационной работе заключается в следующем.

1. Предложен принципиально новый подход к осуществлению научно-технической поддержки Ростехнадзора при выполнении оценки представленных обоснований безопасности определенных видов деятельности в области использования атомной энергии (и на примере оценки обоснования безопасности транспортирования ОЯТ реализован). Он состоит в создании специальных ИС, проблемно-ориентированных на использование при оценке представляемых обоснований безопасности определенных видов деятельности в случаях, когда эта оценка полностью базируется на расчетной проверке корректности значений всех показателей безопасности, приведенных в обосновании.

2. ИС, разработанная автором для транспортирования ОЯТ реакторов типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000, основана на использовании нового для оценки обоснования безопасности транспортирования ОЯТ подхода к определению важнейшего показателя безопасности транспортирования, являющегося функцией пространственной переменной - мощности дозы нейтронного и гамма-излучения в разных точках за защитой ТУК. Это подход заключается в том, что значения указанной функции в каждой из этих дискретных точках для произвольного пространственного и энергетического распределения независимых источников n - γ -излучения выражаются в виде разложения по конечному ряду известных, предварительно рассчитанных точными численными методами (неизменяемых) «базовых» единичных функций пространственной переменной. При этом специфика каждой конкретной загрузки ТУК партией ОТВС полностью

определяется конкретными значениями коэффициентов при членах ряда («базовых» функций), меняющимися от загрузки к загрузке. Они сложным образом зависят от известных и/или измеряемых характеристик транспортируемой партии ОТВС (их номенклатуры, глубины выгорания, длительности кампании, графика нагрузки, времени выдержки, а также, в ряде случаев, от размножающих свойств композиции в целом). В предложенной ИС их значения определяются по наборам коэффициентов простых алгебраических функций, аппроксимирующих эти сложные зависимости, рассчитываемые заранее с требуемой точностью во всем диапазоне изменения известных характеристик ОТВС.

Применимость такого разложения для решения поставленной задачи обусловлена фундаментальным свойством линейности решения уравнения переноса n - γ -излучения (УПИ) относительно источника. Все «базовые» функции могут быть рассчитаны с использованием точных численных методов решения УПИ и реализующих эти методы современных программных средств, детально описывающих геометрические особенности и материальный состав защитно-размножающих систем ТУК+ОТВС и использующих минимум упрощающих допущений. Это обеспечивает успешное решение поставленной автором задачи, направленной на создание ИС, позволяющей специалистам Ростехнадзора выполнять сложнейшие количественные оценки оперативно, без существенных временных и трудовых затрат, без необходимости использования сложного лицензионного программного обеспечения.

Не вдаваясь в подробное изложение содержания диссертации, отражающего высокий научный уровень выполнения всех этапов работы, можно отметить, что на каждом из них автор добился полного достижения частных целей, сформулированных выше. Так, перечень рассчитываемых в ИС показателей безопасности транспортирования ОЯТ в различных возможных режимах и значения соответствующих им критериев безопасности, были определены на основании выполненного в работе анализа принятой технологии и существующей практики транспортирования ОЯТ в Российской Федерации, а также нормативной правовой основы регулирования безопасности этой деятельности в области использования атомной энергии. Расчетные математические модели защитно-размножающих систем ТУК+ОТВС были разработаны по результатам компиляции наиболее подробных данных по конструкции и материальному составу ТУК-6, ТУК-13, ТУК-109 и особенностям конструкции широкой номенклатуры ТВС, уже эксплуатируемых и разрабатываемых для реализации перспективных ЯТЦ. Диапазон изменения известных характеристик ОТВС, для которого в ИС должны быть включены базы данных по ОЯТ (результаты сложных итерационных расчетов), был установлен консервативно по результатам анализа запланированных показателей этих ЯТЦ. Требования к «лицензионной чистоте» ИС, ее вычислительным возможностям и иным «эксплуатационным характеристикам» были сформулированы в явном виде при постановке задач диссертационной работы. Как отмечено выше, концепция создания ИС основывается на использовании фундаментальных свойств УПИ и точных численных методов решения УПИ, реализующих самые современные (2007 – 2010 гг.) версии программных средств и наиболее точные библиотеки сечений нейтронно-фотонных реакций и иных ядерно-физических констант. Работам по созданию каждого из трех блоков ИС с использованием того же вычислительного инструментария предшествовал расчетный анализ физических закономерностей

переноса излучений в соответствующей защитной композиции, что делалось для выявления наиболее характерных «слабых мест» в защите. В ходе заполнения внутренних баз данных каждого блока осуществлялся промежуточный контроль корректности получаемых результатов, уточнялось расположение «критических» точек за защитой, определялись перечни нуклидов, дающих основные вклады в радиационные поля за защитой, в суммарное остаточное тепловыделение и в значение коэффициента размножения системы.

Достоверность основных значимых выводов и результатов, впервые полученных автором и выносимых на защиту, обеспечена последовательным корректным применением подхода, описанного выше, и подтверждена выводами и результатами более поздних работ других авторов, выполненных в ведущих научных коллективах отрасли.

В итоге применения этого подхода была создана ИС, позволяющая оценить безопасность транспортирования ОТВС с максимально «напряженными» характеристиками, и, соответственно, использовать все «скрытые» резервы конструкции существующих ТУК за счет максимального использования заложенных в нее «запасов по безопасности».

Опубликованные в 18 печатных работах (7 из которых представлены в рецензируемых научных изданиях) новые научные результаты и положения, выдвигаемые автором для защиты, выводы и рекомендации автора достаточно полно отражают соответствующие результаты исследований, изложенных в диссертации. Эти новые научные результаты были должным образом представлены для анализа, обсуждения и оценки специалистами на международных и российских научных и научно-технических конгрессах, конференциях, научных сессиях и форумах и, таким образом, прошли необходимую апробацию научным сообществом, достаточно обоснованы и свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1. В практике межобъектового транспортирования ОЯТ часто возникает необходимость транспортирования отдельных ОТВС с предельно «напряженными» радиационными характеристиками в имеющихся ТУК при их неполной загрузке. В то же время в тексте диссертации не указано, что при расчете функций Грина для разработанной ИС были рассмотрены материальные композиции с пустыми ячейками чехлов, т.е. при отсутствии ОТВС в этих ячейках. Использование ИС для оценки безопасности транспортирования таких комплектаций ТУК приведет к неконсервативным результатам из-за учета экранировки излучения ОТВС материалом ОТВС внешних рядов, в то время как на самом деле такой экранировки нет. Это следовало бы отразить в диссертации и оценить величину соответствующих необходимых поправок результатов расчетов с использованием ИС.

2. В созданной ИС отсутствует (как это следует из диссертации) возможность расчета максимального значения температуры оболочек твэлов ОТВС при транспортировании, в то время как это значение является одним из важных показателей безопасности, нормируемых при транспортировании.

3. Автору следовало бы в постановке задач диссертационного исследования привести опубликованные им в [27] и [28] (см. диссертацию) количественные

оценки минимального значения времени выдержки ОТВС новых видов ЯТ в БВ АЭС, необходимого для снижения уровней остаточного тепловыделения ОЯТ до значений, допускающих его безопасное транспортирование. Это позволило бы максимально подчеркнуть высокую практическую значимость поставленной им проблемы.

Однако сделанные замечания не влияют на положительную оценку работы в целом.

Заключение

1. Диссертация Курындина А.В. соответствует паспорту заявленной специальности 05.14.03 и отрасли науки «технические науки». Она является завершённой научно-квалификационной работой, удовлетворяющей критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней». В ней содержится решение актуальной и практически важной задачи, имеющей значение для развития такой отрасли знаний, как методология обоснования безопасности обращения с радиоактивными веществами, ядерными материалами и изделиями из них при их хранении и транспортировании (выполняемого научными организациями атомной отрасли), а также оценки обоснований их безопасности (выполняемой регулирующим органом).

2. Курындин Антон Владимирович заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 («Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации») за выполненную им диссертационную работу «Информационная система поддержки принятия регулирующих решений при транспортировании ОЯТ реакторов типа ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1000».

Официальный оппонент, д.т.н., профессор, ведущий
научный сотрудник
НИЦ «Курчатовский институт»



Б. К. Былкин

Подпись Б.К. Былкина заверяю:

Главный ученый секретарь НИЦ
«Курчатовский институт», д.ф.м.н.,
профессор



В.И. Ильгисонис