



ИБРАЭ



ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



Большов Леонид Александрович
член-корреспондент РАН,
директор ИБРАЭ РАН

В 2013 году Институту проблем безопасного развития атомной энергетики исполнилось 25 лет.

Читателю предлагается краткое издание, в котором содержится описание фундаментальных и прикладных научных работ Института и его основных достижений. Разумеется, это несколько фрагментарный взгляд на историю развития Института. Тем не менее изложенный в издании материал дает достаточно адекватное представление о направлении и, самое главное, о характере деятельности Института.

Важно отметить, что история Института берет свое начало в постчернобыльскую эпоху. Сама идея его создания проистекла из осмысления опыта, накопленного в ходе ликвидации последствий чернобыльской аварии, когда стала очевидной необходимость создания в нашей стране независимой структуры, способной осуществлять экспертную поддержку промышленности, энергетики и органов регулирования и обладающей высоким научно-техническим потенциалом. 3 ноября 1988 г. распоряжением Правительства в Академии наук СССР года был создан Институт проблем безопасного развития атомной энергетики, основная задача которого состояла в развитии фундаментальных исследований в целом ряде областей, так или иначе связанных с безопасностью атомной энергетики и промышленности.

Решение этой задачи потребовало создания компьютерных кодов для анализа безопасности АЭС и объектов ядерного топливного цикла, моделирования сложных процессов распространения радиоактивности в окружающей среде и миграции радионуклидов по пищевым цепочкам, оценки влияния доз облучения на здоровье человека. Другим очень важным направлением нашей работы стало развитие научных основ реагирования на чрезвычайные ситуации с радиационным фактором и методов минимизации последствий радиационных аварий. Фундаментальные и прикладные научные исследования в сфере аварийного реагирования реализовались в создании Техни-

ческого кризисного центра ИБРАЭ РАН, обеспечивающего в рамках российской системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций с радиационным фактором круглосуточную научно-техническую поддержку при радиационных авариях и инцидентах.

Необходимость решения этих проблем определила тематику работы Института на долгие годы. Разумеется, по мере развития фундаментальных исследований какие-то из них в определенный момент завершались или переходили в разряд прикладных, при этом постоянно возникали новые направления работ и новые задачи. Важно, что параллельно с фундаментальными исследованиями Институт всегда уделял большое внимание приложению своих результатов к решению вполне конкретных практических задач повышения безопасности атомной энергетики как в России, так и в целом ряде зарубежных стран. Институт продуктивно взаимодействует с Госкорпорацией «Росатом» и подведомственными ей научно-производственными структурами, с МЧС России, Ростехнадзором, другими министерствами, ведомствами и еще с целым рядом профильных организаций нашей страны, ведет и, несомненно, будет и далее развивать широкое международное сотрудничество.

Сегодня большую актуальность приобретает задача применения знаний, накопленных нами в области безопасности атомной энергетики, к обеспечению комплексной безопасности энергетики и промышленности в целом на основе сформированной при значительном участии нашего Института и утвержденной правительством РФ технологической платформы «Комплексная безопасность промышленности и энергетики». Есть немало и других перспективных направлений развития Института, активно продвигать которые мы рассчитываем уже в самом ближайшем будущем.

Все перечисленные выше аспекты работы Института мы постарались кратко отразить в представленном издании. Получилось ли это — судить читателю.

Содержание

5

Фундаментальные и прикладные исследования в области обеспечения безопасности атомной энергетики

25

Расчетные коды для задач анализа безопасности АЭС с ВВЭР

35

Коды нового поколения в рамках ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения»

43

Научные основы организации систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования



73

Ядерная,
радиационная и
экологическая
безопасность
объектов атомного
флота и малой
энергетики



91

Экология и
обеспечение
ядерной и
радиационной
безопасности
России



107

Технологическая
платформа
«Комплексная
безопасность
промышленности
и энергетики»



111

Международное
сотрудничество





Фундаментальные и прикладные исследования в области обеспечения безопасности атомной энергетики



Большов Леонид Александрович
член-корреспондент РАН,
директор ИБРАЭ РАН

«Визитной карточкой» Института является сбалансированное сочетание фундаментальных научных исследований и актуальных прикладных разработок в сфере обеспечения безопасности атомной энергетики. Научно-технические результаты, достигнутые за 25 лет работы в этом направлении, получили мировое признание и широко используются в атомной отрасли. Не менее важная особенность работ Института состоит в комплексном характере проводимых исследований, которые охватывают широкий пласт проблем, начиная от численного моделирования физических процессов, связанных с функционированием реакторных установок, АЭС и объектов ядерного топливного цикла, и заканчивая анализом радиологических, экологических и социально-экономических аспектов функционирования объектов атомной энергетики и промышленности.

ПРОБЛЕМАТИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

ИБРАЭ РАН проводит фундаментальные и прикладные исследования в области обеспечения безопасности атомной энергетики, концентрируя основные усилия в следующих направлениях:

- фундаментальные исследования проблем безопасности реакторов на тепловых нейтронах с водным теплоносителем и реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем; разработка расчетных кодов для моделирования их поведения, в том числе тяжелоаварийных кодов и прецизионных топливных кодов нового поколения;
- развитие методов, физических и математических моделей и использующих возможности современных

суперкомпьютеров численных алгоритмов трехмерного анализа в реальном времени нейтронных и энергетических характеристик ядерных реакторов;

- исследования фундаментальных проблем вычислительной математики в применении к моделированию физических процессов в атомных реакторах, разработка новых алгоритмов автоматизированного проектирования и методов искусственного интеллекта;
- моделирование переноса радиоактивности в различных средах в применении к обоснованию безопасности захоронения РАО и радиоэкологической безопасности АЭС и ЯРОО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ: КРАТКИЙ ОБЗОР

Ниже дано краткое описание результатов ряда исследований в данной области, проведенных в ИБРАЭ РАН. Являя собой лишь «вершину айсберга», они тем не менее дают адекватное представление о той огромной научной работе по обеспечению ядерной,

радиационной и экологической безопасности объектов атомной энергетики и промышленности, которая была выполнена специалистами Института за 25 лет его существования.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ВОДОРОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Как показала авария на АЭС «Фукусима Дайичи» в марте 2011 г., сопровождавшаяся взрывами водорода с последующим выбросом радионуклидов в атмосферу, проблема водородной безопасности АЭС сохраняет свою актуальность.

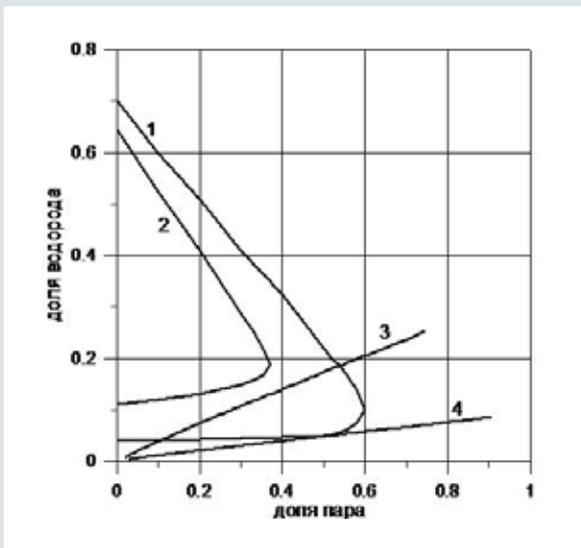
Образование водорода в реакторах на тепловых нейтронах с водным теплоносителем в режиме нормальной эксплуатации обусловлено разложением воды или пара под действием облучения в активной зоне реактора. При запроектной аварии с осушением ак-

тивной зоны возникают условия для выделения водорода в термохимических реакциях пара с цирконием, топливом, конструкционными материалами и топлива с бетоном. Повышенная концентрация водорода внутри защитной оболочки АЭС в аварийных условиях может привести к взрыву с разрушением ЗО и выходом радионуклидов в окружающую среду. Кроме того, большинство турбогенераторов, которые эксплуатируются на АЭС, имеют водородное охлаждение, и при их использовании необходимо предусматривать меры пожарной безопасности машинного зала.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведенных в ИБРАЭ РАН исследований определены критерии обоснования водородной безопасности АЭС с реакторными установками с водным теплоносителем (ВВЭР, PWR, BWR). Разработана методика подавления горения и детонации водорода при аварии РУ ВВЭР-1000 за счет разбавления водорода паром и включения экспериментально выявленного механизма подавления горения вследствие образования мелкодисперсных капель воды.

Результаты исследований показывают, что существует принципиальная и технически реализуемая возможность предотвращения пожара и взрыва в машинном зале АЭС, вызванного аварийной утечкой водорода из турбогенератора.



Концентрационные пределы водородо-паровоздушной смеси при утечке водорода в турбогенераторе АЭС с РУ ВВЭР:

1 – предел горения;

2 – предел детонации;

3 – разбавление смеси воздухом при турбулентном перемешивании (подача воды от деаэратора 30 кг/с);

4 – то же (подача воды 165 кг/с)

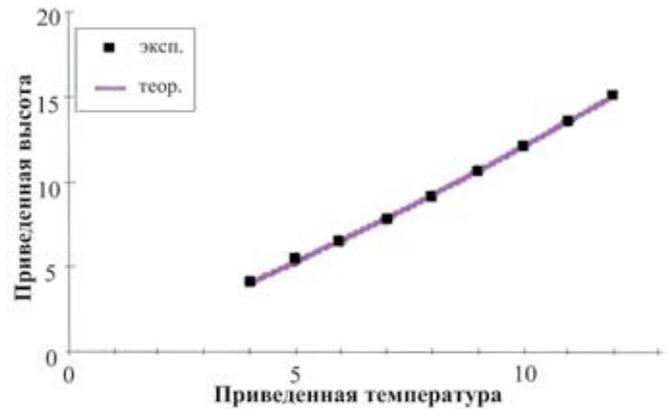
СВОБОДНАЯ КОНВЕКЦИЯ И ТЕПЛОТДАЧА ЖИДКОСТЕЙ С ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ ТЕПЛА

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

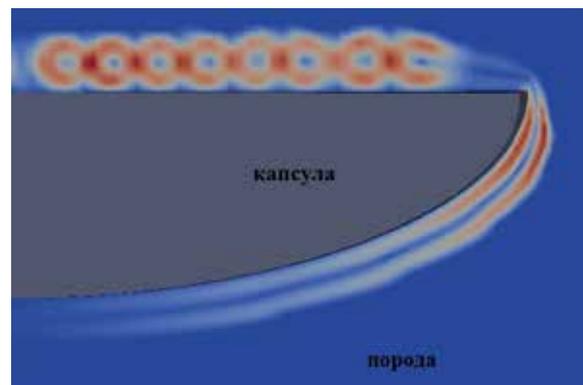
При анализе сценариев и прогнозировании последствий тяжелых аварий на АЭС, сопровождающихся расплавлением активной зоны, актуальной является задача расчета систем локализации и удержания радиоактивного расплава в корпусе реактора. Для такого расчета необходимо знать распределение теплоотдачи расплава по границе корпуса реактора, что, в свою очередь, требует проведения расчетно-теоретических исследований процессов свободной конвекции тепловыделяющей жидкости, заключенной в замкнутом объеме. К другому классу задач подобного рода, востребованных при обосновании водородной безопасности атомных реакторов и оптимизации устройства водородных рекомбинаторов, относится изучение свободной конвекции жидкости при наличии поверхностных источников тепла.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ИБРАЭ РАН впервые для жидкостей с внутренними источниками тепла разработан метод аналитических оценок (Л. А. Большов, П. С. Кондратенко, В. Ф. Стрижов), основанный на общих принципах, описывающих свойства симметрии и законы сохранения физических величин, а также на соображениях размерности и подобия. Проведена классификация физических режимов конвекции жидкости с внутренними источниками тепла во всем представляющем практический интерес



Распределение температуры в потоке жидкости по высоте



Процесс вытеснения расплава породы капсулой с РАО



К. ф.-м. н. Ю. Н. Обухов читает лекцию на конференции молодых ученых, апрель 2013 г.

диапазоне параметров и получены полуколичественные закономерности для распределения теплоотдачи и температуры внутри основного занимаемого жидкостью объема.

Аналитически решена задача о фокусировке теплового потока при концентрационной стратификации многокомпонентного расплава с выделением компонента без внутренних источников тепла. Для легкого компонента получена простая интерполяционная формула, описывающая плотность потока тепла к границе.

Теоретически исследованы характеристики свободной конвекции тепловыделяющей жидкости с неоднородным распределением внутренних источников тепла при ее охлаждении с границы. Установлено, что распределение температуры в объеме жидкости и поток тепла к границе однозначно определяются распределением по вертикали усредненной по горизонтальному сечению мощности внутренних источников тепла.

Разработана математическая модель свободной конвекции водородо-воздушной смеси в каналах с химическими превращениями на твердых поверхностях. Она описывает процесс тепло- и массообмена в пассивных каталитических реакторах водорода (ПКРВ), обеспечивающих водородную взрывозащиту на объектах энергетики и промышленности. Модель использовалась при проведении совместных с ОАО «ВТИ» работ по оптимизации конструкции и улучшению характеристик отечественного ПКРВ нового поколения (проектировщик — ЗАО ИНПК «Русские энергетические технологии»). Разработаны методы моделирования сопряженных процессов теплообмена и гидродинамики с учетом плавления и отвердевания неоднородных геологических пород при самопогружении в них (под действием силы тяжести) тепловыделяющих капсул с РАО. Проходит верификацию программный код MELT-GEO, реализующий математическую модель, основанную на использовании метода сквозного счета. Этот метод позволяет определять границу расплав-порода без дополнительных итераций.

НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Общепризнанным методом решения проблемы окончательной утилизации радиоактивных отходов является их захоронение в геологических формациях. В этой связи в лаборатории теоретической физики ИБРАЭ РАН были проведены исследования некласси-

ческих процессов переноса радиоактивной примеси в сильно неоднородных геологических средах, посвященные анализу физических моделей, отражающих наиболее значимые особенности этих процессов.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Одним из существенных результатов исследований стало решение задачи об адвекции примеси в случайном поле скоростей с дальнедействующими корреляциями. Было установлено, что при определенных условиях перенос примеси происходит в режиме супердиффузии, и произведено обобщение модели с учетом конечной длины корреляции и наличия анизотропии.

Аналитически решены задачи о переносе примеси в сильно контрастных средах: регулярно-неоднородной (модель Дыхне) и перколяционной. Важно отметить, что в обоих случаях существует продолжительный интервал времени, в котором реализуется режим субдиффузии.

Показано, что в рассмотренных физических моделях концентрация примеси на далеких расстояниях от источника (в «хвостах» распределения) убывает по экспоненте. Это убывание в супердиффузионном режиме происходит быстрее, а в субдиффузионном — медленнее, чем по классическому (гауссовому) закону. Важно отметить, что результаты анализа не подтвердили наличие собственных формально-математическим моделям дробной диффузии «тяжелых» хвостов распределения (с убыванием концентрации по степенному закону).

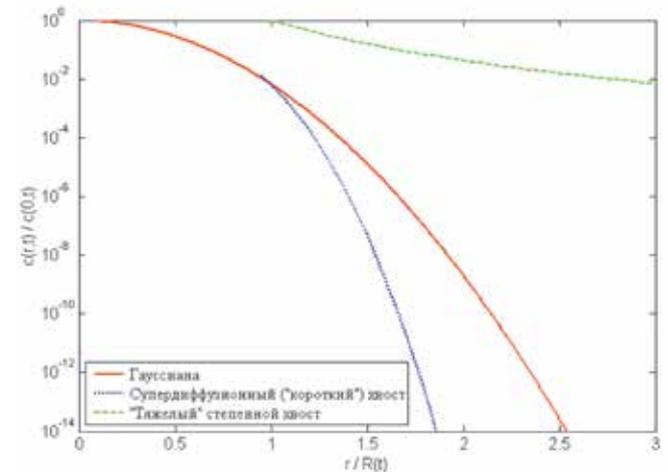
Значимым этапом работ стало проведение качественного и количественного анализа пространственных флуктуаций характеристик среды на малых расстояниях от источника примеси. Эти флуктуации приводят к значительной перенормировке эффективной мощности источника примесей, которая быстро убывает с уменьшением размера источника, если размер источника меньше характерной длины, определяемой свойствами среды. Установлено также, что зависимость фактора риска, который представляет собой один из основных критериев надежности захоронения РАО в геологической среде, от площади контакта захоронения со средой является немонотонной функцией и имеет ярко выраженный экстремум.

Среди результатов проведенных фундаментальных аналитических исследований необходимо также отметить следующие:

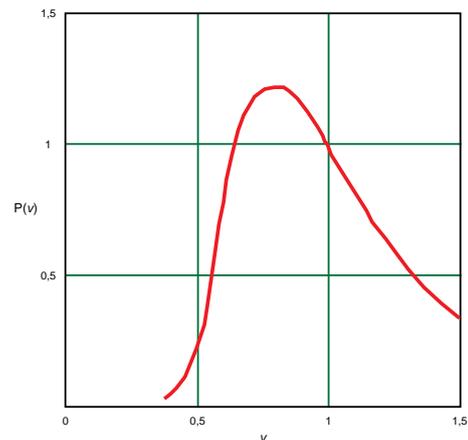
- разработана теоретическая модель для описания неклассических режимов переноса примеси, в присутствии коллоидных частиц в регулярно-неоднородных и фрактальных средах;

- проанализированы аномальные режимы переноса, обусловленные процессами сорбции примеси в статистически однородной двупористой среде;
- решена задача о неклассических режимах переноса примеси при наличии диффузионного барьера вокруг источника примеси в регулярно-неоднородной и во фрактальной средах.

Полученные результаты имеют не только теоретическое, но и прикладное значение и могут быть использованы при выработке методик обращения с ОЯТ и РАО, а также при обосновании безопасности объектов окончательной изоляции высоко- и среднеактивных отходов.



Асимптотические профили концентрации в трех моделях: классической диффузии (гауссиана), случайной адвекции при $h=0,5$ (супердиффузионный («короткий») хвост) и дробной диффузии («тяжелый» степенной хвост)



Зависимость фактора риска от площади контакта захоронения со средой

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СИЛЬНО НЕОДНОРОДНОЙ ТРЕЩИНОВАТОЙ СРЕДЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Одной из первоочередных задач при обосновании безопасности объектов хранения РАО является задача выполнения консервативных оценок рисков, связанных с распространением радиоактивных примесей на большие расстояния. Проведенные в США натурные эксперименты MADE (MacroDispersion Experiment) реального природного масштаба, в которых в естественных условиях исследовалась миграция примеси, инжектированной в водоносный слой, показали, что в неоднородных средах профили концентрации трассера существенно асимметричны. Они имеют сильно вытянутые в сторону течения «хвосты», в которых убывание концентрации примеси не соответствует класси-

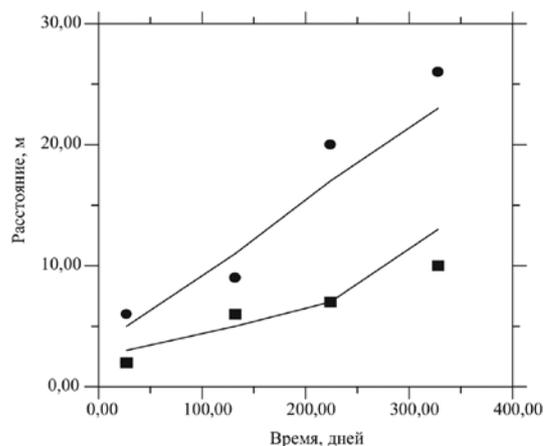
ческому закону молекулярной диффузии Фике и происходит не по экспоненциальному, а по степенному закону. Такой аномальный характер дисперсии радионуклидов при естественной фильтрации в сильно неоднородных водоносных слоях опасен возможностью их миграции на более значительные расстояния, чем считалось ранее. Ранее использовавшиеся в описании этих экспериментов модели с дробной пространственной производной ограничены одномерным случаем и не применимы к расчету анизотропных процессов. Для решения этой проблемы в ИБРАЭ РАН предложена концепция многомерных стохастических моделей случайных блужданий (FLM, Fractal Levy Motion).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

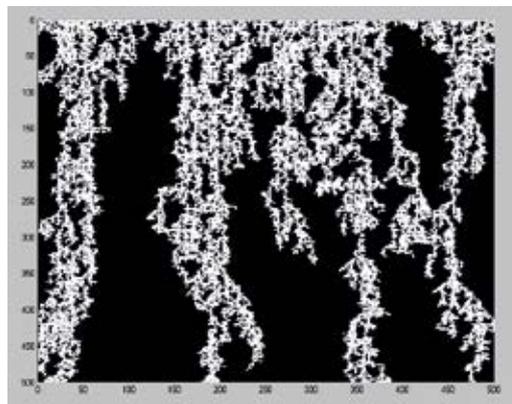
Учитывая широкий спектр возможного характера распространения радионуклидов в неоднородных средах, в ИБРАЭ РАН проведены фундаментальные исследования, по итогам которых на основе оригинальных генераторов случайных величин аппроксимационного типа разработаны одномерная, двумерная и трехмерная стохастические робастные (устойчивые к внешним воздействиям) модели распространения примеси с «тяжелыми» хвостами функции распределения. Эти модели используются для описания реальных процессов дисперсии радионуклидов в неоднородных средах (в частности, в экспериментах MADE).

Также разработан ряд моделей, относящихся к другому классу стохастических моделей фрактальных блужданий — Fractal Brownian Motion (FBM) с коррелированными приращениями во времени. Они предназначены для описания результатов, полученных в лабораторных условиях при исследовании процессов аномальной дисперсии (как субдиффузии, так и супердиффузии). На основе модели двумерной фрактальной случайной трещиноватой среды реализован алгоритм CABARET прямого численного моделирования распространения радиоактивного загрязнения.

Созданные в ИБРАЭ РАН стохастические модели представляют собой вычислительную основу для разработки программных кодов, предназначенных для расчета и прогнозирования миграции радионуклидов в неоднородных геологических средах, и решения задач обеспечения безопасности хранения радиоактивных отходов. Разработаны такие детерминированные модели расчета переноса влаги в сильноконтрастных трещиноватых средах на основе алгоритма CABARET.



Зависимости от времени пиковой концентрации (*max*) и среднего значения (*mean*) трассера в эксперименте MADE-2 и сравнение с результатами расчетов по двумерной стохастической модели (сплошные линии)



Результаты расчета по схеме CABARET просачивания воды по трещиноватой среде

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ

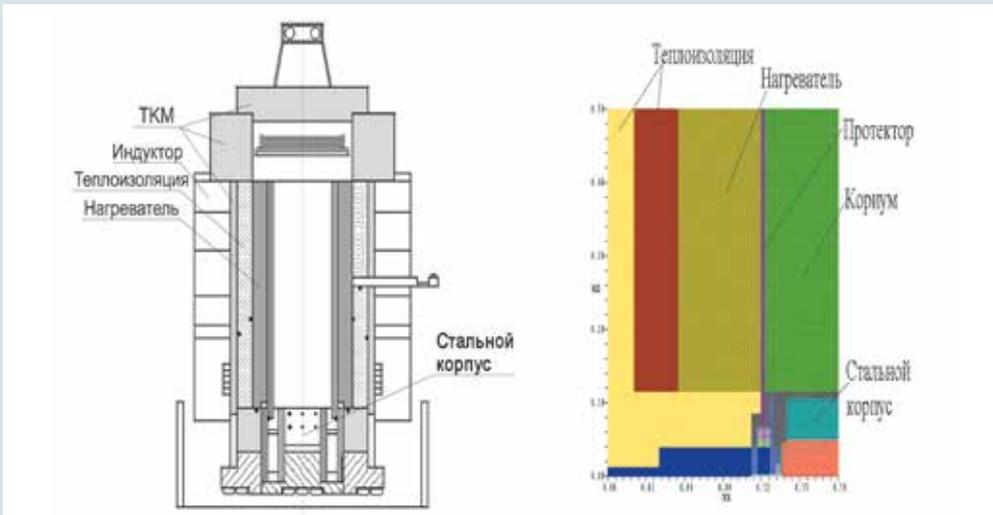
ПРОЕКТ РАСПЛАВ-МАСКА

Один из первых масштабных международных исследовательских проектов Института, РАСПЛАВ, посвящен исследованию поведения расплавленного кориума на днище корпуса реактора. В проекте под эгидой Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), который впервые проводился в стране, не входящей в эту организацию, объединили свои усилия 14 стран-участниц и Россия. Соответствующее соглашение было подписано в июле 1994 г.

Главным исполнителем проекта являлся РНЦ «Курчатовский институт» (руководитель проекта д.т.н. В. Г. Асмолов). Расчетно-теоретическое сопровождение экспериментов было возложено на ИБРАЭ РАН. Основное внимание уделялось исследованию тепло-

гидравлических процессов в расплаве кориума и физико-химических процессов взаимодействия различных составляющих расплава.

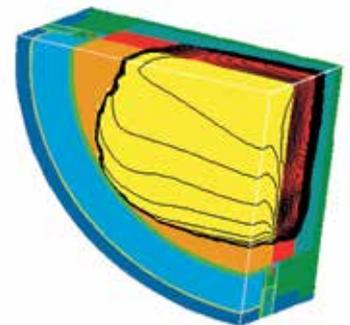
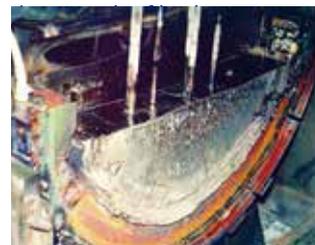
Для моделирования экспериментов в рамках проекта был создан программный комплекс CONV3D. Его расчетная модель включает в себя все основные компоненты экспериментальной установки AW-200, что позволяет с высокой надежностью прогнозировать поведение кориума, конструкционных материалов и узлов установки. Претестовые расчеты продемонстрировали высокую предсказательную способность программных средств, которые в дальнейшем широко использовались при определении сценария эксперимента и анализе экспериментальных данных.



Схематический вид установки AW-200 (слева) и ее расчетная модель (1/2 часть)

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчетов и теоретического анализа находятся в хорошем согласии с результатами экспериментов, что говорит о высоком качестве расчетных методов и схем. Так, сравнение тепломассопереноса для различных методов нагрева в зависимости от угла вдоль охлаждаемой поверхности подтверждает подобие процессов переноса, теоретически предсказанное в самом начале проекта. Хорошее согласие с данными экспериментов получено для относительной толщины корки. Форма слитка, полученного на экспериментальной установке, также хорошо согласуется с положением изотермы, соответствующей температуре ликвидуса.



Форма слитка и расчетная изотерма ликвидуса для эксперимента AW-200-1

По окончании второй фазы проекта РАСПЛАВ был инициирован новый проект МАСКА под эгидой ОЭСР, который ориентирован на изучение физико-химического поведения расплава кориума, его взаимодействия с конструкционными материалами, распределения отдельных компонентов расплава и продуктов деления между металлической и оксидной фазами.

Усовершенствованная установка РАСПЛАВ-3 использовалась в рамках проекта МНТЦ № 3345 «Оценка аварийного выброса на внекорпусной стадии тяжелой аварии», в частности, при проведении верификационных тестов программного модуля MFPR_MELT, входящего в состав интегрального расчетного кода улучшенной оценки СОКРАТ/ВЗ, разработанного в ИБРАЭ РАН.

ПРОЕКТ PARAMETER

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обоснование пожаро- и взрывобезопасности АЭС в ходе тяжелой аварии, включая расчетно-экспериментальные исследования количественных характеристик источника водорода в условиях экстренной подачи воды в аварийный реактор и образования взрывоопасных концентраций водорода внутри ЗО, имеет огромное значение при проектировании современных энергоблоков.

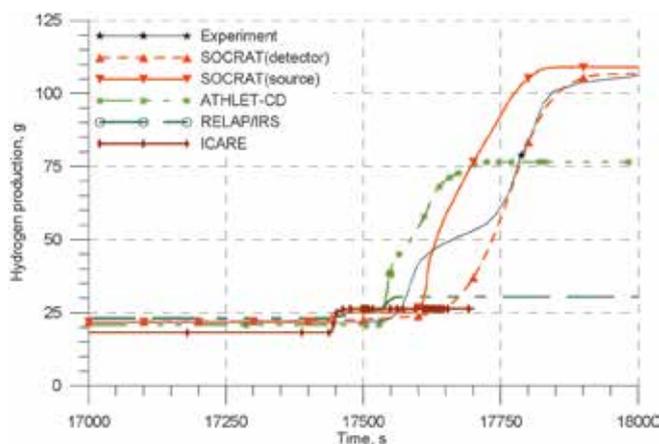
Источником водорода при тяжелых авариях являются реакции взаимодействия водяного пара с конструкционными материалами. При контакте пара с разогретыми до высоких (более 1200°C) температур твэлами, замедляющими стержнями, стальными конструкциями активной зоны и внутрикорпусными устройствами происходит интенсивная реакция окисления с образованием водорода. Между тем при восстановлении систем энергоснабжения АЭС в качестве одной из мер по управлению аварией предусмотрена возможность подачи большого количества воды в АЗ с целью ее охлаждения и предотвращения плавления. Побочным эффектом интенсивной подачи воды при тяжелой аварии может быть резкая эскалация скорости окисления и быстрый выброс большого количества взрывоопасного водорода под защитную оболочку.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В экспериментах серии PARAMETER-SF1÷SF4 сборка из 19 твэлов ВВЭР разогревалась в потоке пароаргоновой смеси до определенной температуры, а затем заливалась водой сверху или комбинированно (сверху и снизу). Полученные экспериментальные данные использовались для кросс-верификации кодов, пред-



*В. В. Чуданов, к. ф.-м. н.,
заведующий лабораторией
вычислительной теплогидродинамики*



Выход водорода в эксперименте PARAMETER SF-4

Международный проект PARAMETER посвящен изучению феноменологии формирования источника водорода при заливе водой перегретых сборок твэлов на установке ПАРАМЕТР (НПО «Луч», г. Подольск). Ряд экспериментов, выполненных в 2006–2009 гг., был посвящен изучению поведения топливных сборок РУ ВВЭР в условиях, характерных для тяжелых аварий. В подготовке и проведении этих экспериментов активно участвовали сотрудники ИБРАЭ РАН.

назначенных для анализа безопасности АЭС: ICARE/CATHARE (РНЦ «Курчатовский институт»), ATHLET-CD (GRS, Германия), RELAP/SCDAPSIM MOD3.2 (ОКБ «Гидропресс»), МААР4.07 (EdF, Франция), SCDAP/RELAP/IRS (PSI, Швейцария). Было показано, что по совокупности параметров (распределение толщины оксида по высо-

те сборки и характеристики источника водорода) разработанный в ИБРАЭ РАН интегральный код СОКРАТ демонстрирует наилучшее согласие с экспериментом.

Численный анализ эксперимента PARAMETER-SF4 показал, что плавление сборки при заливе, образование расплава и его окисление были корректно смодели-

рованы только кодами СОКРАТ и ATHLET-CD. Наиболее близкие к эксперименту результаты были получены при расчете по коду СОКРАТ. Другие коды не предсказали тотальное плавление сборки, выявленное по итогам постэкспериментальных материаловедческих исследований.

ПРОЕКТЫ SAMARA/ERCOSAM

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

В обосновании водородной безопасности АЭС важную роль играет оценка пространственного распределения водорода под защитной оболочкой АЭС в аварийных условиях.

В 2010 г. в рамках сотрудничества Росатом — Евроатом параллельно запущены проекты SAMARA и ERCOSAM со сроком действия 4 года. Они представляют собой комплексные расчетно-экспериментальные исследования стратификации легкого газа в экспериментах со сценарием, воспроизводящим последовательность событий при тяжелой аварии с потерей теплоносителя на легководном реакторе, и возможности ее разрушения при работе технических средств управления авариями (спринклеров, теплообменников-конденсаторов, пассивных автокаталитических рекомбинаторов). Начальные и граничные условия экспериментов основаны на характеристиках, полученных для тяжелой аварии типа «малая течь» в типовой защитной оболочке АЭС, с учетом масштабирования к параметрам экспериментальных установок.

В общей сложности проведено 14 экспериментов на установках разного масштаба — TOSQAN (7 м³), СПОТ (59 м³), MISTRA (100 м³) и PANDA (100 м³), а также численный бенчмарк на конфигурации концептуальной установки HYMIX масштаба, близкого к прототипу (3000 м³).

В аналитических исследованиях задействованы программы вычислительной гидродинамики (CFD-коды) FLUENT, GASFLOW, CFX, OpenFOAM, а также коды в сосредоточенных параметрах GOTHIC, TONUS, COCOSYS, ASTEC, КУПОЛ-М, КУПОЛ-МТ, широко использующиеся в текущей практике обоснования безопасности АЭС. В рамках проектов в ИБРАЭ РАН проводятся верификационные исследования CFD-кодов универсального назначения FLUENT и OpenFOAM. В параллельном проекте принимают участие специалисты из трех российских (ИБРАЭ РАН, ГНЦ ФЭИ им. А. И. Лейпунского, ОАО «ОКБМ Африкантова»), шести европейских (PSI, FzJ, KIT, NRG, CEA, IRSN), одной канадской (AECL) и одной американской (NRC) научных организаций. ИБРАЭ РАН является координатором российской части проекта SAMARA.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

По итогам выполнения проектов в 2014 г. будет создана база экспериментальных данных по физическим явлениям, происходящим в защитной оболочке легководных реакторов во время постулируемых

аварий с разрушением активной зоны, и будут продемонстрированы возможности расчетных кодов для проведения теплогидравлического анализа континента.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

АДДИТИВНЫЕ ОПЕРАТОРНО-РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ (СХЕМЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ)

В ИБРАЭ РАН проводятся работы по построению и теоретическому анализу вычислительных алгоритмов приближенного решения сложных нестационарных задач на основе перехода к последовательности бо-

лее простых задач. Применение аддитивных схем связано с расщеплением оператора (операторов) исходной задачи в сумму более простых для вычислительной реализации. Расщепление проводится на основе



В. М. Головизнин, д. ф.-м. н., заведующий отделом перспективных исследований и математического моделирования с учеником Д. Г. Асфандияровым

различных подходов и эффективно при использовании параллельных компьютеров.

В рамках этих работ проводятся целевые исследования схем расщепления для эволюционных уравнений первого и второго порядка с разработкой вычислительных алгоритмов для новых классов нестационарных задач, когда расщепляется оператор при про-

изводной по времени. Выделены и изучены схемы расщепления для систем эволюционных уравнений, которые включают сопряженные друг другу операторы (подобная структура математических моделей характерна при решении многих прикладных проблем моделирования теплогидродинамических и нейтронно-физических процессов в атомных реакторах).

РАЗНОСТНАЯ СХЕМА CABARET

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из фундаментальных проблем вычислительной математики, актуальной с точки зрения реализации практических задач в сфере энергетики, является проблема «сеточного переноса». «Сеточный перенос» является критически важным элементом математического моделирования таких гидродинамических явлений, как турбулентные течения при больших числах Рейнольдса в элементах энергетических установок, когерентные вихревые структуры в атмосфере и океанах, генерация звука турбулентными струями в задачах аэроакустики.

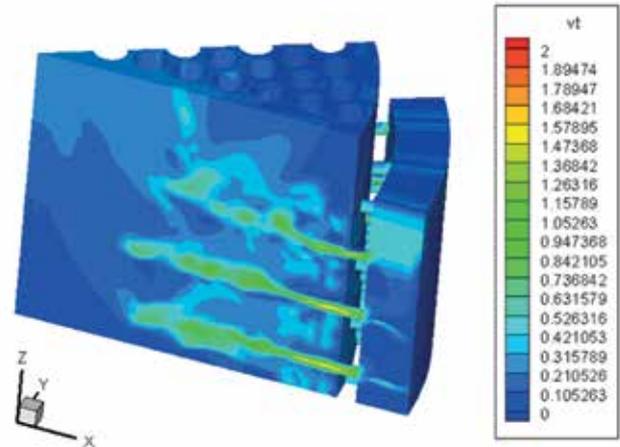
В 1998 г. в ИБРАЭ РАН была разработана новая разностная схема для простейшего уравнения переноса, получившая наименование CABARET. В процессе доработки и ряда последовательных обобщений схемы появилась возможность ее применения к таким сложным задачам, как решение многомерных уравнений адвекции-диффузии с доминирующей адвекцией (сеточным переносом) и систем законов сохранения гиперболического типа, моделирование двумерных газодинамических течений в ортогональных координатах и двумерных несжимаемых течений, описываемых уравнениями Навье—Стокса в (P, u, v) и в (ω, ψ) ,

(ω , u , v) переменных, обобщение на четырехугольные косоугольные сетки и неструктурированные гексагональные косоугольные сетки. Дальнейшие исследования направлены на изучение новых возможностей расчета экстремальных ударно-волновых течений и решения актуальных задач аэроакустики в применении к моделированию гидродинамических процессов в атомных реакторах.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Схема CABARET представляет собой новую высокоэффективную вычислительную технологию численного решения систем законов сохранения гиперболического типа и задач с доминирующим сеточным переносом и относится к вычислительным алгоритмам нового поколения, ориентированным на суперкомпьютеры экзафлопсного класса.

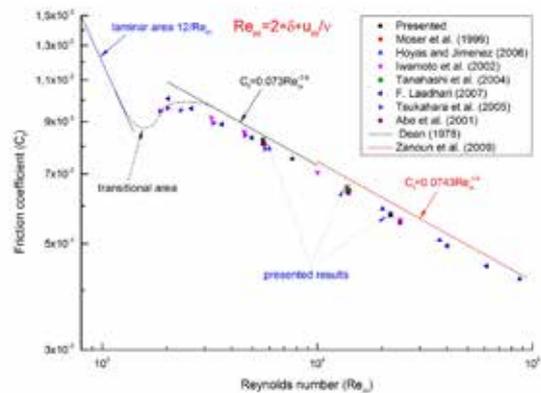
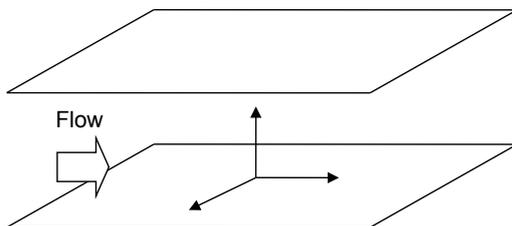
Следует отметить, что схема CABARET не приводит к существенному затуханию акустических возмущений (возмущений порядка $P/P_0 = 10^{-3} - 10^{-6}$), характерному для других известных схем, в том числе и при наличии достаточно сложных пространственно-временных фоновых течений. Расчетным путем было установлено, что схема обеспечивает постоянство амплитуд двумерных вихрей с неподвижной осью, причем как для сжимаемой, так и для несжимаемой жидкости. По своему значению это свойство в вычислительной математике сравнимо с явлением сверхпроводимости в электротехнике. Это позволяет использовать схему CABARET в расчетах вихревых и турбулентных течений при больших числах Рейнольдса как в приближении крупных вихрей без явного использования подсеточ-



Распределение скорости потока при больших числах Рейнольдса во фрагменте теплообменника со свинцово-висмутовым теплоносителем в проектируемом реакторе СВБР-100

ных моделей турбулентности (LES), так и в рамках прямого моделирования турбулентности при детальном разрешении колмогоровского масштаба (DNS-приближения) без каких либо настроечных параметров.

Вычислительный шаблон схемы CABARET является предельно компактным, уместающимся в одну пространственно-временную расчетную ячейку. Это позволяет очень просто задавать граничные условия в сложных расчетных областях и обеспечивать максимальную вычислительную эффективность распараллеливания при проведении масштабных параллельных вычислений на многопроцессорных вычислительных комплексах.



Зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса



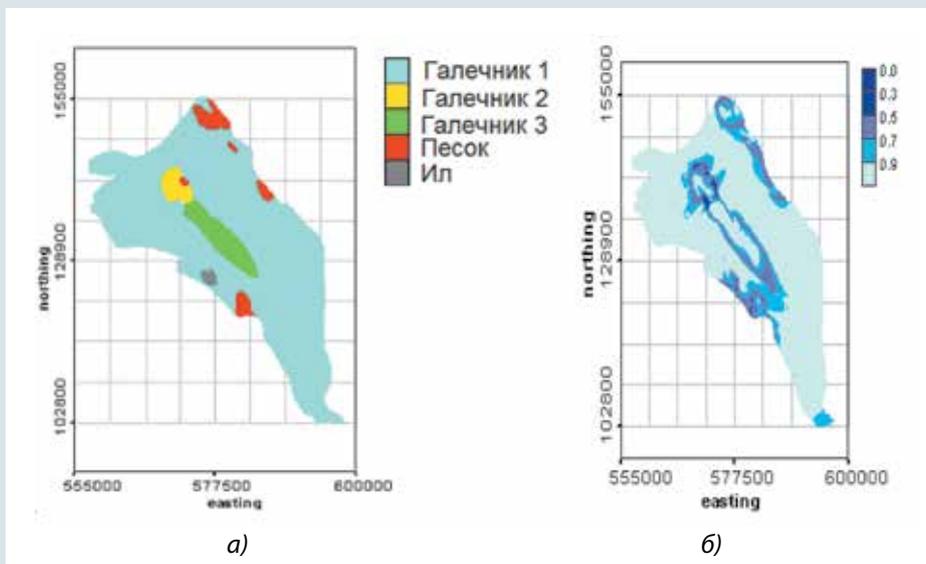
Е. А. Савельева-Трофимова, к. ф.-м. н., заведующая лабораторией геостатистического моделирования на семинаре по геостатистике

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ

Актуальность работ по созданию, адаптации и применению методов анализа, обучающихся на исходной информации, связана с необходимостью адекватной обработки данных экологического мониторинга. Основным инструментарием для анализа являются специально разработанные и верифицированные подходы, основанные на геостатистике (статистической интерпретации данных с учетом их пространственной и временной структуры) и методах машинного обучения. При этом особое внимание уделяется возможности использовать неточно заданную информацию и

получать вероятностную оценку пространственной неопределенности результатов.

В ИБРАЭ РАН разработана методология анализа пространственно-распределенных данных с представлением результатов в географической информационной системе. Использование теоретического обоснования используемых методов позволяет корректно интерпретировать полученные результаты и оценивать неопределенности. Особо следует отметить метод ядерной интерполяции, базирующийся на непараме-



Восстановление характеристик геологической среды методами искусственного интеллекта. Результаты зонирования гидрогеологического слоя геологической модели полигона Хэнфорд Сайт (США) по литологическим типам с использованием вероятностной модели:

а) карта зон литологических типов;

б) результаты компьютерного восстановления зоны неопределенности классификации (вероятность выбранного класса)

трическом моделировании функции плотности вероятности. На его основе разработана самообучающаяся нейронная сеть обобщенной регрессии (НСОР), пригодная для использования в режиме реального времени. Разработанные методы используются в реальных приложениях, в частности, при моделировании распределения радиоактивных загрязнений в ре-

зультате аварии на Чернобыльской АЭС, при анализе гидрологической ситуации в окрестностях ПО «Маяк» на Южном Урале, при формировании геологической модели для задач миграции радионуклидов, а также в совместных российско-американских проектах, связанных с захоронением РАО.

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОДЫ

РАСЧЕТ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭС

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

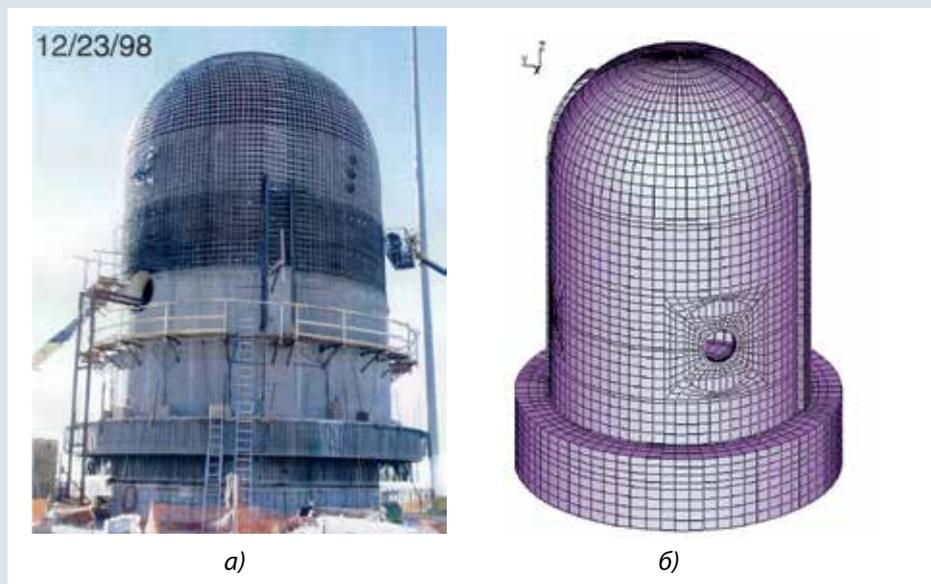
Защитная оболочка (ЗО), или контейнмент, АЭС является сложной пространственной конструкцией. Учет ее особенностей требует комплексного подхода к определению напряженно-деформированного состояния (НДС) ЗО при проектных и запроектных авариях. Большое влияние на характер распределения напряжений в стенке ЗО оказывают температурные напряжения, обусловленные колебанием

температур внутри и снаружи контейнмента. В ИБРАЭ РАН разработаны методики, математические модели и программные модули, обеспечивающие выполнение расчетов НДС ЗО как в осесимметричной, так и в объемной постановке задачи с учетом наличия армированных слоев бетона и внутренней стальной облицовки, а также образования трещин в бетоне.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС CONT

Разработанный в ИБРАЭ РАН и прошедший аттестацию программный комплекс (ПК) CONT предназначен для численного моделирования НДС защитных оболочек АЭС при статических эксплуатационных и аварийных нагрузках, в том числе и температурных, с возможностью поэтапного расчета и учета повторяемости геометрии отдельных фрагментов конструкций. ПК CONT обеспечивает проведение линейно-упругих и

нелинейных расчетов ЗО различных типов: железобетонных без предварительного напряжения, железобетонных предварительно напряженных, стальных. Для каждого типа ЗО строится расчетная модель, которая учитывает особенности геометрических параметров оболочки, ее армирование, физико-механические характеристики используемых материалов, расположение напрягаемых арматурных канатов.



Модели железобетонной предварительно напряженной защитной оболочки SANDIA в масштабе 1/4:

а) реальная;

б) трехмерная компьютерная, разработанная в рамках верификации кода CONT

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В рамках верификации ПК CONT проведены расчеты НДС моделей защитных оболочек, построенных в США в национальной лаборатории Sandia (железобетонной без преднапряжения в масштабе 1/6 и железобетонной предварительно напряженной в масштабе 1/4, которая является аналогом защитной оболочки одной из японских АЭС с реактором PWR). Для этого были разработаны осесимметричная и трехмерная конечно-элементная модели, а также методика расчета предварительно напряженной железобетонной ЗО, учитывающая действие нагрузки от натяжения арматурных канатов, от собственного веса конструкции и от внутреннего давления.

Результаты расчетов уровней давления, приводящих к появлению первой трещины в бетоне в зависимости от типа напряжений, показали хорошее соответствие данным натурных измерений и подтвердили применимость ПК CONT для решения практических задач по

анализу напряженно-деформированного состояния ЗО при воздействии эксплуатационных и аварийных нагрузок.

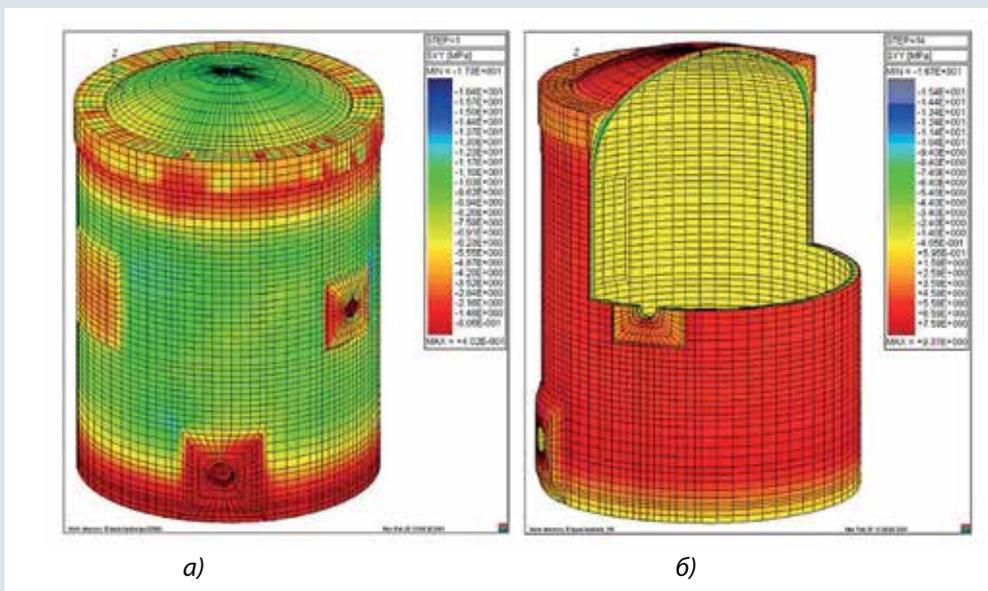
В рамках оказания технической помощи концерну «Росэнергоатом» в ИБРАЭ РАН изучены и обоснованы возможности создания экспертной системы оценки фактического состояния защитной оболочки АЭС с ВВЭР-1000 на основе программы расчета НДС конструкции и данных датчиков контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Проведено исследование возможности создания экспертной системы контроля НДС защитной оболочки АЭС с ВВЭР-1000 на базе существующей системы КИА, определены основные факторы, влияющие на показания датчиков КИА, разработаны способы оценки их работоспособности при длительной эксплуатации. Экспертная система установлена на Ростовской и Калининской АЭС.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭС С ВВЭР-1000

Проектный срок службы защитных оболочек АЭС первого поколения (5-й энергоблок Нововоронежской АЭС, 1-й и 2-й энергоблоки Калининской АЭС для реакторов ВВЭР-1000) завершается, поэтому актуальной является разработка методик продления ресурса этих ЗО.

Анализ НДС защитных оболочек АЭС, выполненный применительно ко 2-му энергоблоку Калининской АЭС с использованием программного комплекса CONT, показал, что в течение всего периода эксплуатации имеют место значительные деформации ползучести

бетона, которые приводят к появлению внутренних напряжений в стенке ЗО и обусловлены как влиянием сезонных и суточных колебаний температур окружающей среды, так и неоднородностью физико-механических характеристик уложенного в тело оболочки бетона. Для выполнения расчетов НДС защитной оболочки АЭС была разработана ее трехмерная осесимметричная модель, учитывающая основные конструктивные элементы ЗО: внутреннюю герметизирующую облицовку, стержневую арматуру и напрягаемые арматурные канаты. Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что для повышения эксплуатаци-



Распределение окружных напряжений в бетоне защитной оболочки АЭС ВВЭР-1000 от действия:

а) преднапряжения;

б) неравномерного поля температуры

В. Н. Медведев, к. т. н., заведующий лабораторией механики строительных конструкций объектов ТЭК



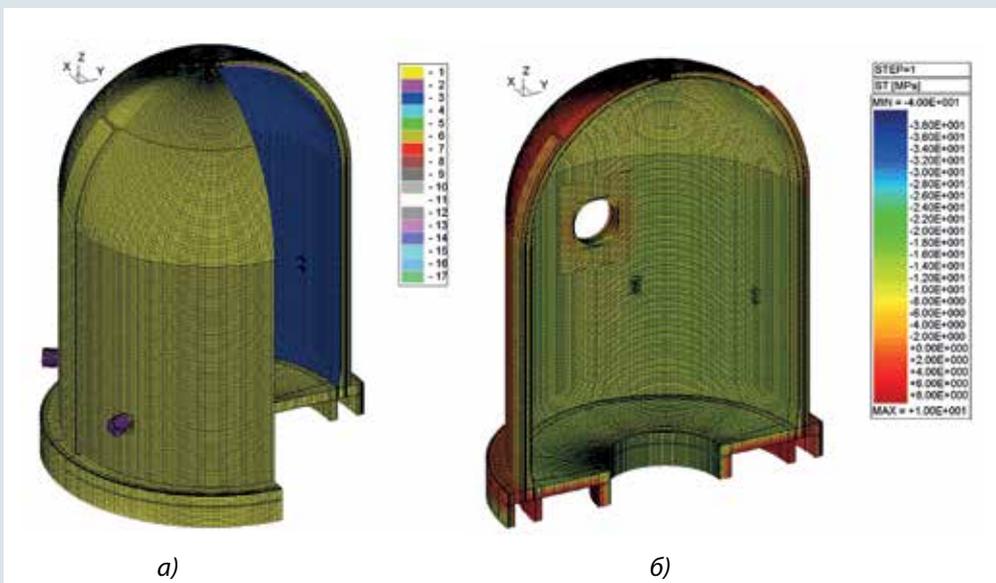
онной надежности защитной оболочки реакторного отделения АЭС ВВЭР-1000 необходимо снизить усилие натяжения арматурных канатов до 750 т. Это позволит значительно сократить объемы контрольно-профилактических работ на системе предварительного

напряжения ЗО, уменьшить потери от релаксации напряжений в проволоках арматурного каната, а также избежать самопроизвольных обрывов арматурных канатов в процессе нормальной эксплуатации АЭС.

АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭС НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Одним из основных элементов обеспечения повышенной надежности российских АЭС нового поколения (АЭС-2006) является двойная защитная оболочка, состоящая из герметичной предварительно напряженной ЗО и наружной ненапряженной железобетонной оболочки.

В ИБРАЭ РАН с использованием кода CONT проведен комплексный анализ поведения защитной оболочки АЭС-2006 при воздействии различных факторов, имеющих место в штатных и аварийных режимах работы АЭС. Трехмерная модель ЗО, включающая все ее основные конструктивные



элементы, содержит 1 262 080 объемных, 8 узловых конечных элементов, моделирующих бетон, и 320 224 стержневых элементов, моделирующих меридиональную и окружную арматуру вблизи внутренней и наружной поверхностей оболочки. Расчеты НДС ЗО были выполнены для случая воздей-

ствия комбинации нагрузок (влияния собственного веса конструкции, преднапряжения, внутреннего давления и температурных градиентов) в начальный момент аварии. В результате расчетов были определены зоны наибольшей концентрации напряжений ЗО АЭС-2006 при аварийных нагрузках.

РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КОДОВ ПО АНАЛИЗУ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Накопленный в ИБРАЭ РАН многолетний опыт создания и применения программных средств анализа безопасности объектов атомной энергетики позволил сформулировать методологический подход к их разработке, который включает в себя следующие основные направления:

- разработка моделей, основанных на уравнениях математической физики и современных знаниях о процессах и явлениях, происходящих в различных режимах работы реакторных установок;
- создание на основе этих моделей компьютерных программ для анализа аварийных процессов на АЭС и их верификация;
- расчетно-теоретические работы по сопровождению экспериментальных программ;
- применение разработанных программных комплексов для анализа безопасности АЭС.

Использование физических подходов к построению моделей позволяет значительно улучшить их предсказательную способность и уменьшить неопределенность расчетов. Эффективность программных средств проверяется путем их верификации с исполь-

зованием экспериментальных данных. Одновременно проводится оценка существующей базы знаний по физическим процессам и явлениям, что позволяет более четко формулировать задачи экспериментальных исследований.

Программные коды разрабатываются в ИБРАЭ РАН в рамках совместных проектов с российскими и международными организациями, действующими в сфере обеспечения безопасности атомной энергетики. Особую роль играет участие ИБРАЭ РАН в интегральных экспериментах, позволяющих верифицировать интегральные коды.

В ходе разработки моделей и кодов для анализа тяжелых аварий были выявлены основные неопределенности используемых физических моделей, получены оценки применимости существующих кодов к анализу безопасности АЭС с реакторами различных типов. Дальнейшее развитие этих кодов происходит по пути создания интегральных программных комплексов. Например, пакет программ РАТЕГ-СВЕЧА-ГЕФЕСТ, разрабатывавшийся в рамках проекта обоснования водородной безопасности и устройств удержания расплава реакторов ВВЭР, вошел в состав интегрального расчетного комплекса СОКРАТ.

ПАКЕТ ПРОГРАММ CONV

В рамках реализации задач численного моделирования процессов тепломассопереноса при анализе тяжелых аварий на АЭС в ИБРАЭ РАН созданы двумерные и трехмерные гидродинамические коды CONV2D и CONV3D, которые верифицированы на широкой базе экспериментальных данных по ламинарным и турбулентным течениям расплава.

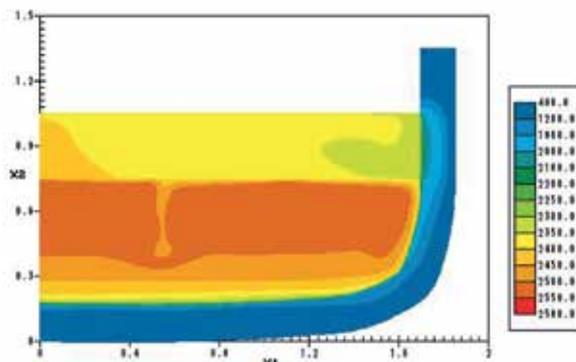
Разработаны модели формирования твердых структур на границе расплава реакторных материалов с учетом реальных фазовых диаграмм состояний, проведены численные расчеты по моделированию крупномасштабных экспериментов в проекте РАСПЛАВ и расчеты конвекции тепловыделяющего стратифицированного расплава в геометрии реактора ВВЭР-440.

Для анализа поведения расплава в устройстве удержания расплава реактора ВВЭР-1000 рассмотрены вопросы заполнения кориумной ловушки с учетом геометрических особенностей размещения жертвенного материала. Разработанная трехмерная компьютерная модель ловушки также включает в себя описание физико-химических взаимодействий расплава кориума и конструкционных материалов активной зоны с жертвенными материалами и с бетоном.

Теплогидродинамическая модель CONV3D создана на основе разработанной в ИБРАЭ РАН методики 3D-моделирования гидродинамических течений с применением терафлопсных суперкомпьютеров — «Чебышев», «Ломоносов», «Blue Gene» (МГУ), «K-100»

(ИПМ РАН). Ее уникальность состоит в возможности проведения расчетов на кластерных ЭВМ с большими массивами данных и размерностями расчетных сеток (до 1 млрд узлов), в достижении масштабируемости и получении результатов в разумное время (несколько часов или дней). Расчетный код CONV3D верифицирован на серии экспериментальных тестов, среди которых: слепой тест по моделированию течений в Т-соединении (OECD/NEA, проект РАСПЛАВ), эксперимент SIBIRIA (Новосибирск, ИТ СО РАН) по анализу потока в кольцевом канале с барьером. В ходе теста MAX (ANL США) верификация теплогидродинамической модели CONV3D проводилась на данных по тепловому перемешиванию и конвекции, а в эксперименте ERCOFTAC (мировая база данных по турбулентным течениям) — по естественной конвекции в замкнутых областях при экстремально высоких числах Рэлея.

Во всех случаях достигнуто хорошее совпадение результатов численного моделирования с экспериментальными данными, что говорит о возможности применения модели CONV3D для предсказания гидро-



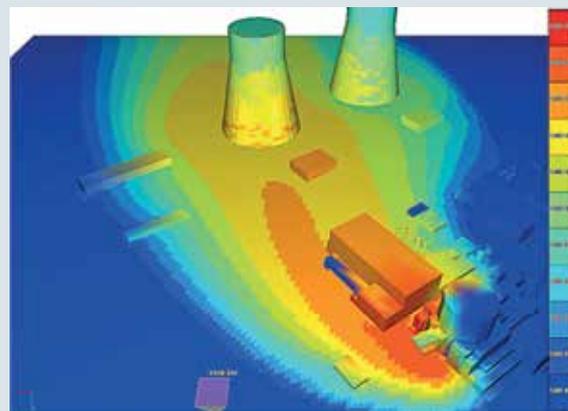
Конвекция стратифицированного расплава в геометрии ВВЭР-440

динамических течений в нормальных и аварийных режимах работы проектируемых и действующих АЭС. В настоящее время CONV3D используется в расчетах эталонного теста Matis-H (OECD/NEA) по анализу турбулентного перемешивания в горизонтальных подканалах связки стержней при нормальных давлении и температуре.

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОМПЛОЩАДКЕ АЭС

Современный уровень развития вычислительной техники дает возможность реализовать наиболее эффективные методики моделирования атмосферного переноса радионуклидов в условиях промышленной застройки, основанные на численном решении трехмерных уравнений Навье—Стокса с использованием гидродинамических моделей турбулентности (CFD-кодов). Разработанные в ИБРАЭ РАН программные средства на основе CFD-кода с моделями турбулент-

ности типа LES и RANS и простых однородных сеток обеспечивают построение 3D-моделей промышленных площадок и элементов городской застройки, расчет концентраций и плотности выпадения радиоактивных веществ на промплощадке АЭС, визуализацию результатов расчета. Наличие таких программных средств позволяет адекватно оценивать радиологические последствия проектных и запроектных (в том числе тяжелых) аварий на АЭС и других ЯРОО.



Примеры построения трехмерной модели площадки АЭС и визуализации результатов расчета плотности осаждения радиоактивных аэрозолей на промплощадке АЭС



Делегация ИБРАЭ РАН на семинаре по вопросам сотрудничества в области разработки и верификации расчетных средств для обоснования безопасности реакторов на быстрых нейтронах, Кадараш, 2010 г.

ТОПЛИВНЫЙ КОД НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ SFPR

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для моделирования термомеханических и физико-химических процессов на уровне твэла — основного элемента энергетического реактора — используются топливные коды. В отличие от интегральных кодов их применение не требует сложных расчетов поведения активной зоны реактора, что позволяет сфокусировать внимание на детальном описании функционирования отдельных твэлов в различных режимах работы РУ. Однако физические модели, используемые в существующих топливных кодах, упрощены и содержат целый ряд подгоночных параметров и эмпирических корреляций, что значительно снижает предсказательные возможности этих кодов и их применимость для описания новых видов топлива. Поэтому решение многих практических задач в сфере обеспечения безопасности ЯЭУ требует создания топливных кодов нового поколения, свободных от указанных недостатков.

В настоящее время в ИБРАЭ РАН завершается разработка топливного кода нового поколения SFPR, который предназначен для детального описания и прогнозирования термомеханического и физико-химического поведения топливных элементов при нормальных условиях эксплуатации, при нарушении нормальных условий эксплуатации и при проектных и запроектных авариях водо-водяных реакторов.

Повышенная предсказательная способность применяемых в топливном коде SFPR вычислительных алгоритмов обусловлена тем, что в его основе лежат физические модели, изначально разработанные для описания тяжелых аварий на АЭС и характеризующиеся высокой степенью детализации сложно протекающих процессов в РУ (многие из этих моделей используются также в интегральном расчетном комплексе СОКРАТ). Впоследствии эти модели были расширены в область проектных аварий и нормальной эксплуатации топлива, сохранив, однако, возможность детального описания взаимосвязанных физических процессов в твэлах.

Механистический подход, основанный на применении в коде SFPR усовершенствованных физических моделей, позволяет адекватно моделировать маломасштабные тесты и эксперименты, проводимые в рамках реакторных испытаний различных видов топлива (МОКС, нитридного, карбидного, металлического), а также использовать результаты моделирования при анализе поведения твэлов в течение топливной кампании или же в условиях проектных и запроектных аварий, в том числе и для реакторов на быстрых нейтронах.

Возможности современных компьютерных систем позволяют отказаться от применения полуэмпирических моделей микроструктурного анализа топлива с большим количеством неявных параметров и перейти к гораздо более эффективному способу непосредственных расчетно-теоретических (*ab initio*) вычислений этих параметров, исходя из основных принципов квантовой механики и молекулярной динамики. Поэтому в ИБРАЭ РАН особое внимание уделяется созданию физических моделей *ab initio* в кооперации с ОИВТ РАН и использованию их в топливных кодах

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Конечным результатом разработки и модификации (в применении к новым видам топлива для реакторов на быстрых нейтронах) указанных физических моделей является обеспечение в рамках топливного кода SFPR адекватного описания основных физических явлений, характеризующих поведение тепловыделяющих элементов в различных (в том числе аварийных) режимах работы ядерного реактора. Моделирование термомеханических, физико-химических (включая взаимодействие материалов твэлов и их теплообмен с теплоносителем), нейтронно-физических процессов в топливе и расчет выхода продуктов деления осуществляется с использованием вычислительных возможностей современных суперкомпьютеров.

нового поколения (в том числе SFPR) с целью выполнения поддерживающих расчетов, особенно в применении к новым видам топлива, для которых еще не разработана достаточно подробная экспериментальная база данных. Аналогичным образом для выполнения поддерживающих расчетов при определении ключевых параметров моделей, составляющих основу термомеханического топливного кода, могут быть применены наиболее эффективные расчетные методики (в частности, метод конечных элементов).

Топливный код SFPR совместим с другими разработанными в ИБРАЭ РАН программными средствами и может быть интегрирован в сквозную систему расчетных кодов, обеспечивающую анализ и обоснование безопасности АЭС с реакторными установками различных типов. Достоверность и высокая надежность предсказаний кода SFPR для оксидного топлива была подтверждена путем его верификации в рамках участия ИБРАЭ РАН в ряде международных проектов по развитию и применению топливных кодов в научных исследованиях (4th—6th Framework Programme of Euroatom, SAMANTHA, МНТЦ), а также в ходе практического применения российскими профильными организациями (ИБРАЭ РАН, ОАО «ГНЦ НИИАР», ОАО «Машиностроительный завод» и ряд других).



Лаборатория теории конденсированного состояния, слева направо: С. Ю. Чернов, к. ф.-м. н., М. С. Вещунов, д. ф.-м. н., В. Е. Шестак, к. ф.-м. н., А. В. Болдырев, к. ф.-м. н.



Расчетные коды для задач анализа безопасности АЭС с ВВЭР



Стрижов Валерий Федорович

доктор физико-математических наук,
заместитель директора ИБРАЭ РАН по разработке
интегрированных программных комплексов анализа
безопасности АЭС и ЯТЦ

В ИБРАЭ РАН успешно реализуется комплексная программа научных исследований, направленных на обеспечение безопасности ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), в том числе объектов атомной энергетики. Одним из ключевых ее элементов является разработка физических моделей и создание алгоритмов и программных кодов, предназначенных для расчета физических процессов, протекающих в атомных реакторах различных типов, и численного моделирования проектных и запроектных аварий, в том числе тяжелых, с разрушением активной зоны реактора и выбросом радиоактивных материалов в окружающую среду. С 1989 г. мы сотрудничаем с комиссией по ядерному регулированию США, французскими регулирующими органами в области совершенствования программных средств анализа безопасности ядерных реакторов. Помогая улучшать существующие системы кодов, мы параллельно создавали свои. В начале 2007 г. мы завершили создание сквозной системы реалистических кодов СОКРАТ, которая сегодня является одной из лучших в мире.

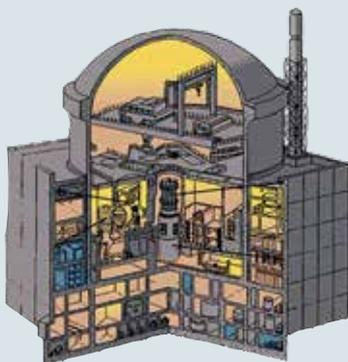


Киселев Аркадий Евгеньевич
доктор технических наук,
заведующий Отделением анализа безопасности
ядерных энергетических установок

Тяжелые запроектные аварии на АЭС — явление крайне редкое. Однако задачи обеспечения технологической и радиационной безопасности АЭС являются приоритетными на всех этапах ее жизненного цикла начиная с проектирования и заканчивая выводом из эксплуатации и утилизацией. Практическая реализация этих задач требует проведения целенаправленных фундаментальных и прикладных научно-технических исследований. К разработке отечественных кодов, сопоставимых по возможностям с американским тяжелоаварийным кодом MELCOR и европейским ASTEC, в ИБРАЭ РАН приступили еще в конце 1990-х годов. В кооперации с ведущими организациями отрасли (ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, ОАО «СПБАЭП», ФГУ НИЦ «Курчатовский институт», ОКБ «Гидропресс», ОАО «АЭП», ГНЦ РФ-ФЭИ, ОАО «ЭНИЦ») был создан сквозной расчетный код СОКРАТ, который позволяет моделировать процессы, происходящие при тяжелых запроектных авариях на реакторах с водным теплоносителем (ВВЭР, ВВР, РВР, КЛТ-40С) начиная с исходного события и заканчивая выходом радионуклидов в окружающую среду.

ТИПЫ АВАРИЙ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВОЗНИКАТЬ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

ПРОЕКТНАЯ — авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или одной, независимой от исходного события ошибки персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами. Такая авария не ведет к серьезным повреждениям активной зоны реактора, а ее последствия ограничиваются и устраняются системами безопасности в составе проекта РУ АЭС и действиями персонала.



ЗАПРОЕКТНАЯ — авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала. Ослабление последствий достигается управлением запроектной аварией и/или реализацией планов мероприятий по защите персонала и населения.

ТЯЖЕЛАЯ — подмножество запроектных аварий, характеризующееся повреждением твэлов выше максимального проектного предела и возможным достижением предельно допустимого аварийного выброса радиоактивных веществ в окружающую среду. При этом оказываются превышены дозовые пределы для проектных аварий, что обуславливает необходимость проведения комплексных мероприятий по защите персонала и населения вплоть до эвакуации населения.

КЛЮЧЕВЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОДЕ СОКРАТ

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Расчетный код (РК) СОКРАТ предназначен для моделирования тяжелых запроектных аварий с плавлением активной зоны реакторных установок водо-водяного типа и представляет собой систему интегрированных программных модулей. Реализованные в них вычислительные алгоритмы основаны на использовании физических моделей, детально описывающих процессы (или их совокупность), протекающие при тяжелой аварии в реакторной установке и защитной оболочке.

БАЗОВАЯ СТРУКТУРА

Базовая структура РК СОКРАТ включает в себя программные модули:

СВЕЧА — моделирование взаимосвязанных физико-химических процессов разрушения активной зоны и внутрикорпусных устройств реактора при тяжелой аварии;

HEFEST — моделирование теплофизических процессов в расплаве активной зоны (кориуме) и внутрикорпусных устройств на поздних стадиях тяжелой аварии, разрушения корпуса реактора;

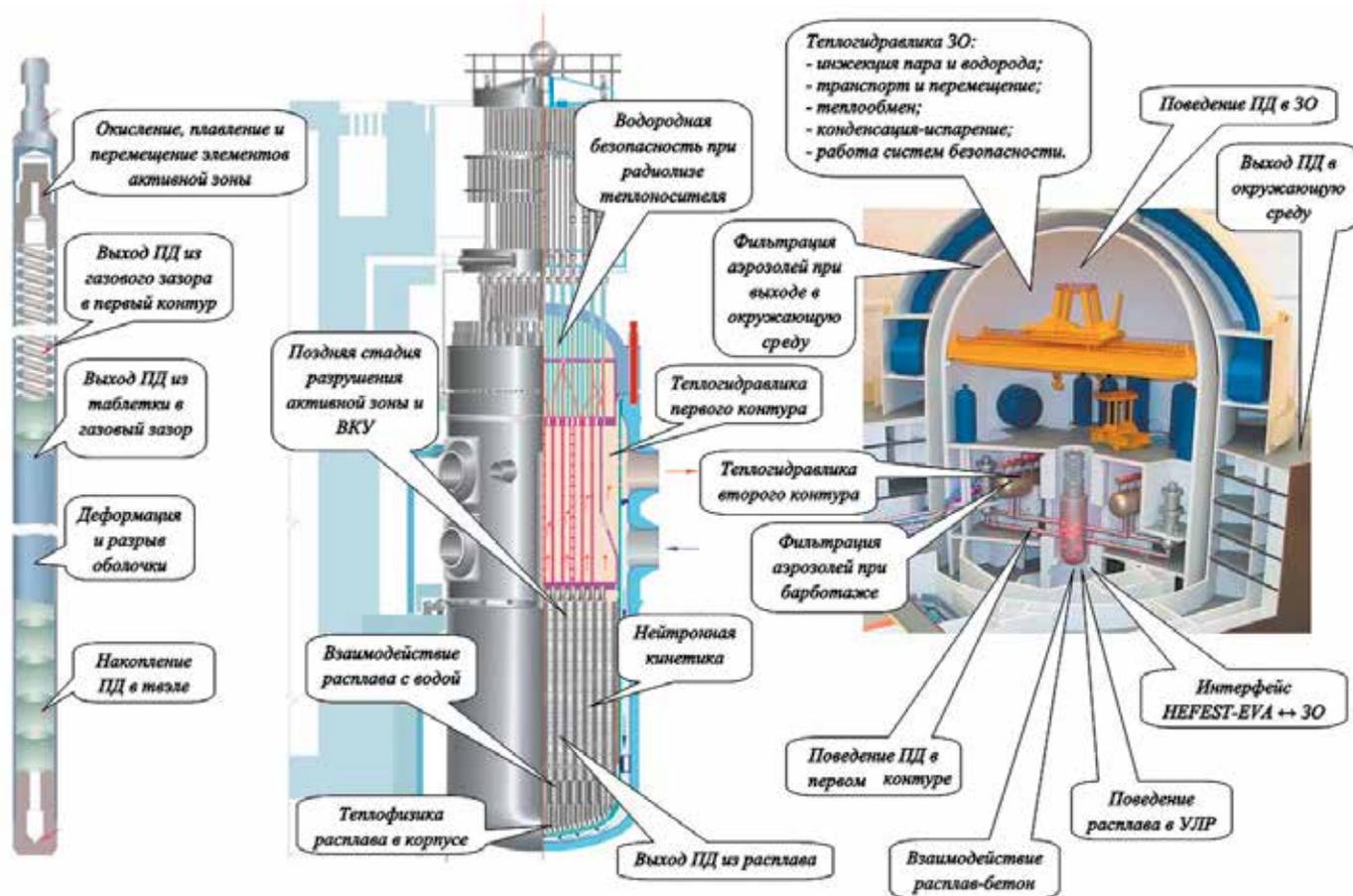
Объединение модулей в единый программный комплекс дает возможность проводить сквозное детальное моделирование всех существенных стадий тяжелых аварий и получать полную картину развития аварии с момента ее возникновения и вплоть до выхода радиоактивных продуктов деления за пределы защитной оболочки АЭС.

PATEF — моделирование теплогидравлических процессов в РУ ВВЭР (разработка ФЦУП РФЯЦ-ВНИИЭФ).

Базовая версия расчетного кода СОКРАТ/В1 в 2008 г. аттестована Ростехнадзором для комплексного численного моделирования динамики физико-химических, теплогидравлических и термомеханических процессов, происходящих в реакторных установках с водным теплоносителем ВВЭР при тяжелых запроектных авариях.



С 2007 по 2011 г. каждую осень ИБРАЭ проводил выездные школы-семинары ученых и специалистов «Моделирование аварий на ядерных энергетических установках»



Список сокращений

а.з.	— активная зона реактора;	БН	— быстрый натриевый реактор;
ВКУ	— внутрикорпусные устройства;	ЗО	— защитная оболочка АЭС;
КМ	— конструкционные материалы;	НКР	— напорная камера реактора;
ПД	— продукты деления;	ПГ	— парогенератор;
РК	— расчетный код;	РУ ВВЭР	— реакторная установка с водо-водяным энергетическим реактором;
ТВЭЛ	— тепловыделяющий элемент;	УЛР	— устройства локализации расплава активной зоны

РАСШИРЕННАЯ ВЕРСИЯ КОДА СОКРАТ

Расширенная версия расчетного кода СОКРАТ включает несколько десятков программных модулей и разработанных ИБРАЭ РАН совместно с организациями-партнерами (ФГУП РЯЦ-ВНИИЭФ, филиал ОАО «ГИ ВНИПИЭТ» «СПбАЭП», ФГУ НИЦ «Курчатовский институт», ОКБ «Гидропресс», ОАО «АЭП», ГНЦ РФ-ФЭИ, ОАО «ЭНИЦ») физических моделей.

Она обеспечивает расчет параметров, необходимых для оценки радиационных последствий тяжелых за-проектных аварий на АЭС с реакторными установками ВВЭР и детально описывает основные процессы:

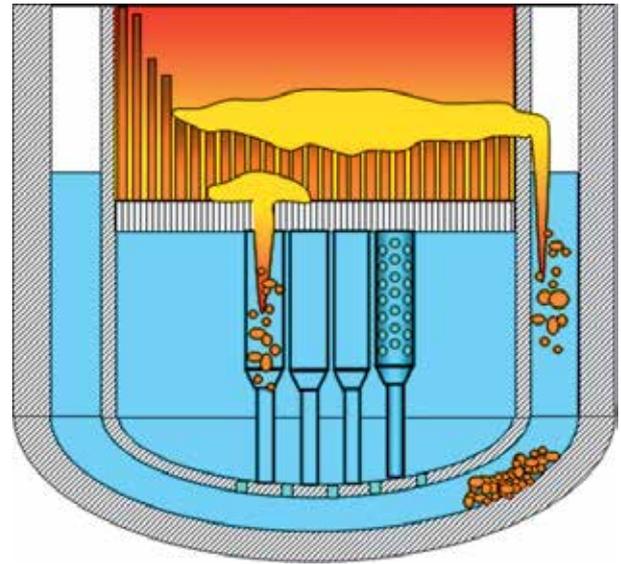
- накопление радиоактивных продуктов деления в топливе и в газовом зазоре твэлов в процессе нормальной эксплуатации;
- теплогидравлические процессы в первом и втором контурах РУ и в помещениях под ЗО;
- разогрев, окисление и плавление элементов активной зоны и ВКУ;
- поведение расплава внутри и вне корпуса реактора;
- перенос и осаждение радиоактивных продуктов в различных физико-химических формах в первом контуре РУ и в ЗО;
- выход радиоактивных продуктов в окружающую среду.

ВЕРИФИКАЦИЯ РК СОКРАТ

Постоянная верификация кода и лежащих в его основе физических моделей является одной из важнейших составляющих его разработки и эксплуатации. Модели и алгоритмы РК СОКРАТ прошли всестороннее тестирование на широком наборе данных, полученных в результате экспериментов и натурных измерений, выполненных в России и за рубежом. Специалисты ИБРАЭ РАН принимали участие в ряде международных экспериментальных программ: CORA, QUENCH (Германия), RHEBUS (Франция), РАСПЛАВ, МАСКА (Россия — OECD), LOFT, PBF.

Верификация и кросс-верификация моделей РК СОКРАТ осуществлялась и продолжается в настоящее время в рамках следующих международных проектов:

К 2013 г. большинство программных модулей было модифицировано для обеспечения возможности моделирования других реакторов на тепловых нейтронах с водным теплоносителем (КЛТ-40С, BWR, PWR).



Пример использования РК СОКРАТ (модули VAPEX-M и HEFEST) для моделирования процесса заполнения расплавом напорной камеры РУ ВВЭР при протекании тяжелой за-проектной аварии

- серия экспериментальных исследований на установке PARAMETER;
- международная стандартная задача ICSP MASLWR, проводимая под эгидой МАГАТЭ;
- расчетный бенчмарк АТМ1-2, проводимый рабочей группой WGAMA ОЭСР;
- совместный проект Росатом-Евроатом ERCOSAM-SAMARA;
- международный расчетно-аналитический бенчмарк BSAF по моделированию протекания тяжелой аварии на энергоблоках 1—3 АЭС «Фукусима Дайичи» (под эгидой ОЭСР).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

ПК СОКРАТ прошел аттестацию и широко используется ведущими российскими проектно-конструкторскими и научными организациями (ИБРАЭ РАН, филиал ОАО «ГИ ВНИПИЭТ» «СПБАЭП», ОАО «АЭП», НИЦ «Курчатовский институт», ОАО ОКБ Гидропресс, ГНЦ РФ-ФЭИ) при анализе запроектных тяжелых аварий на АЭС с реакторами на тепловых нейтронах с водным теплоносителем (ВВЭР, PWR, BWR, КЛТ-40С), обоснование во-

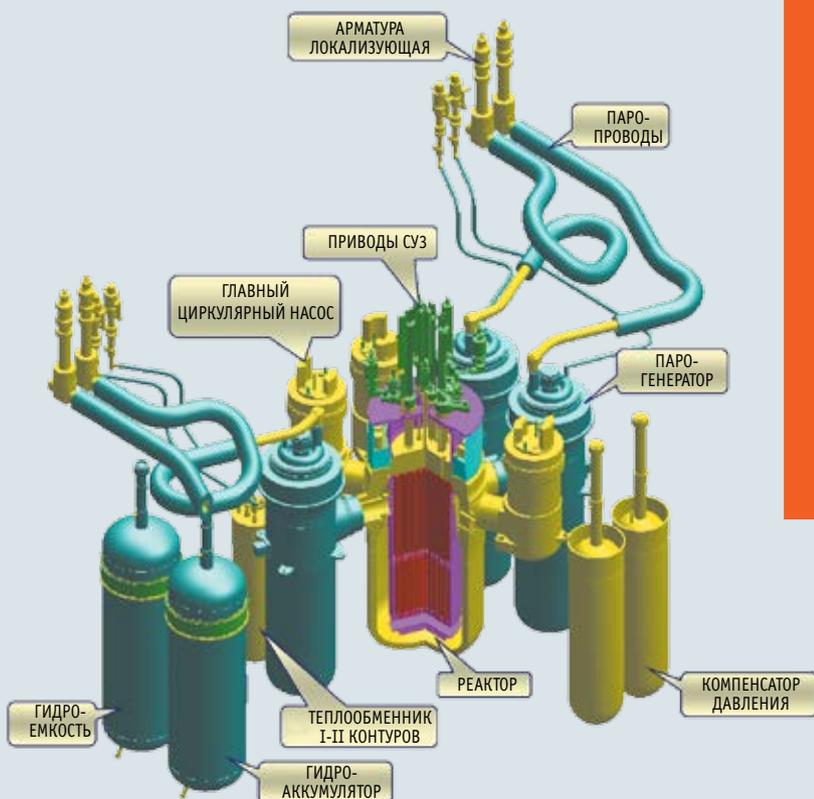
дородной безопасности, обоснование безопасности и при проектировании систем удержания и локализации расплава. Большое значение для развития международного сотрудничества в сфере безопасности атомной энергетики имеют проводимые ИБРАЭ РАН обучение и методическая подготовка специалистов зарубежных надзорных органов в странах-импортерах российских атомных технологий.

ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАТЭС

Одним из самых перспективных российских проектов альтернативной энергетики является разработка и создание плавучих атомных теплоэлектростанций малой мощности (ПАТЭС), которые уже в обозримом будущем способны обеспечить потребности в отдаленных районах Севера и Дальнего Востока в тепле и электроэнергии.

В 2011—2012 гг. совместно с ОАО «ОКБМ Африкантов», разработчиком реакторной установки КЛТ-40С, на основе которой реализуется один из проектов

ПАТЭС, было выполнено моделирование гипотетической тяжелой аварии с повреждением активной зоны реактора. В расчетах сценариев протекания тяжелой аварии использовался ПК СОКРАТ с адаптированными к решению данной задачи программными модулями. Результаты моделирования позволили определить оптимальные меры по локализации последствий аварии и были использованы при расчете параметров защитной оболочки и обосновании водородной безопасности ПАТЭС.



10 — количество российских и зарубежных организаций и предприятий атомной отрасли, применяющих ПК СОКРАТ при решении практических задач обеспечения безопасности АЭС и ЯРОО

50 — число специалистов, прошедших обучение и методическую подготовку к применению ПК СОКРАТ для анализа тяжелых аварий на АЭС с реакторами ВВЭР

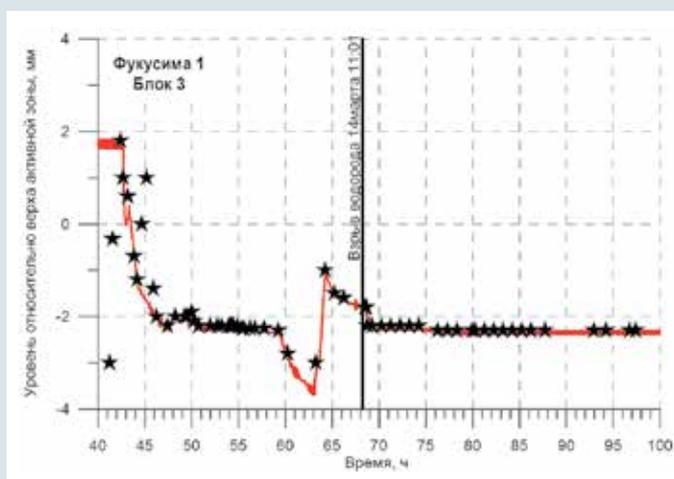
Общий вид реакторной установки КЛТ-40С для плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС)

АНАЛИЗ АВАРИИ НА АЭС «ФУКУСИМА»

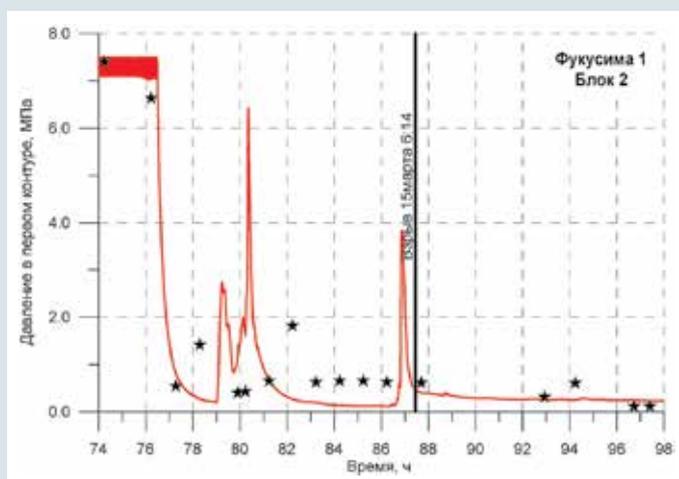
11—13 марта 2011 г. был выполнен численный анализ тяжелой запроектной аварии на АЭС «Фукусима-1», дан подробный прогноз состояния активных зон и бассейнов выдержки ОЯТ энергоблоков 1—4.

В дальнейшем этот прогноз в основном подтвердился, а процесс разрушения активной зоны реакторов был предсказан с большой достоверностью.

С июня 2012 г. ИБРАЭ участвует с РК СОКРАТ в проводимом Токийской энергетической компанией (TEPCO) и Европейской организацией экономического сотрудничества и развития (OECD/NEA) международном анализе аварии на АЭС «Фукусима Дайичи» с участием специалистов из США, Франции, Германии, Японии, Испании, Кореи и Швейцарии и лучших зарубежных тяжелоаварийных кодов (MELCOR, MAAP, ATHLET-CD, ASTEC).



а)



б)

Сравнение измеренных в ходе тяжелой аварии на АЭС «Фукусима Дайичи» эксплуатационных характеристик реакторов ВВР-4 с расчетом, проведенным 11.03.2011 г. в ИБРАЭ РАН с использованием РК СОКРАТ:

а) изменение уровня воды в активной зоне реактора 3-го энергоблока;

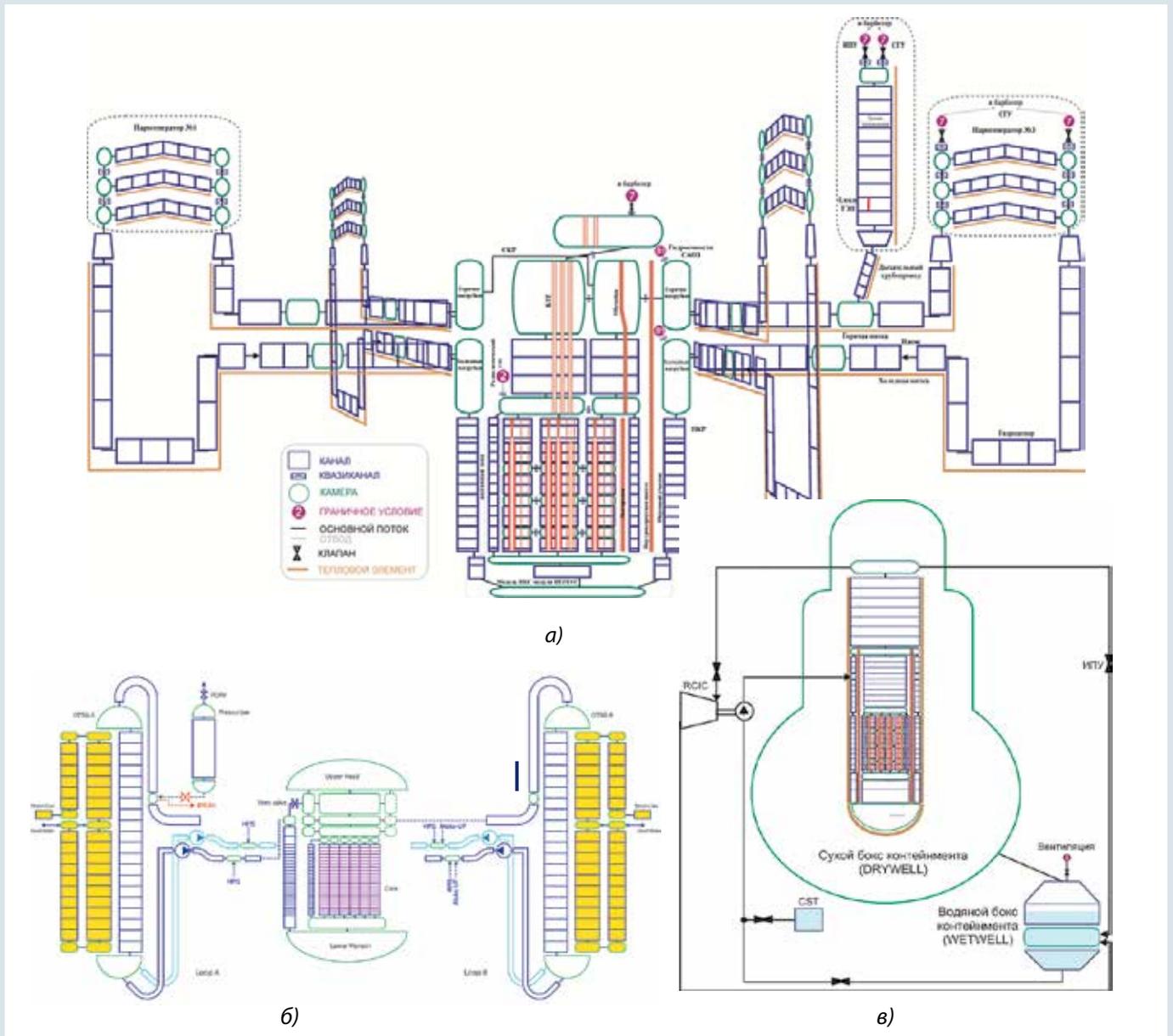
б) изменение давления в первом контуре реактора 2-го энергоблока

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Работы по дальнейшему развитию РК СОКРАТ проводятся в двух научных направлениях. Первое включает в себя совершенствование текущей версии РК СОКРАТ, участие в международных бенчмарках с целью верификации кода, адаптацию физических моделей и вычислительных алгоритмов под различные проекты реакторов на тепловых нейтронах с водным теплоносителем.

11 — количество стран, на АЭС которых используются реакторы ВВЭР

484 — общее количество реакторных установок с водным теплоносителем, находящихся в эксплуатации и готовящихся к вводу в эксплуатацию за рубежом



Примеры нодализационных схем СОКРАТ для различных РУ
 а – ВВЭР, б – КЛТ-40С (ПАТЭС), в – ВВР-4 («Фукусима-1»)

Второе научное направление посвящено исследованиям проблем безопасности существующих и перспективных реакторов на быстрых нейтронах (БР) с жидкометаллическим теплоносителем, а также разработке кодов для моделирования их поведения в эксплуатационных и аварийных режимах. В настоящее время в ИБРАЭ РАН на платформе РК СОКРАТ создана версия кода СОКРАТ-БН, предназначенного для расчета физических процессов в БР-реакторах с натриевым теплоносителем.

41 — общее количество энергетических реакторных установок с водным теплоносителем, находящихся в эксплуатации и готовящихся к вводу в эксплуатацию в России



Совещание группы экспертов ТКЦ ИБРАЭ РАН по моделированию аварий на АЭС, слева направо: сидят В. Ф. Стрижов, д. ф.-м. н., зам. директора; Д. Ю. Томащук, инженер; стоят Н. А. Мосунова, к. ф.-м. н., зав. отделением; С. В. Цаун, к. ф.-м. н., зав. лабораторией; А. Е. Киселев, д. т. н., зав. отделением; К. С. Долганов, к. т. н., зав. лабораторией



Делегация ИБРАЭ РАН на 2-м семинаре в рамках сравнительного расчетного анализа аварии на АЭС «Фукусима Дайичи» (проект BSAF), организованного АЯЭ ОЭСР, 6—9 ноября 2012 г., Токио



Conference Hall №1

Conference Hall №1

PROGRAM

Day 1 - June 4

- 09:00-10:00 [Illegible text]
- 10:00-11:00 [Illegible text]
- 11:00-12:00 [Illegible text]
- 12:00-13:00 [Illegible text]
- 13:00-14:00 [Illegible text]
- 14:00-15:00 [Illegible text]
- 15:00-16:00 [Illegible text]
- 16:00-17:00 [Illegible text]

Коды нового поколения в рамках Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года»



Мосунова Настасья Александровна
кандидат физико-математических наук,
заведующий Отделением разработки программного
обеспечения для анализа безопасности АЭС

С большим интересом работаю в рамках ФЦП над созданием нового поколения расчетных кодов. В рамках этой работы внедряется опыт, накопленный в предыдущие годы по различным проектам. Сформирован прекрасный коллектив, сочетающий как опытных «зубров», так и молодых специалистов, недавно закончивших высшие учебные заведения. Успех работы в значительной степени зависит от того, насколько эффективной будет координация работы и насколько тесным будет сотрудничество с проектно-конструкторскими организациями, поэтому мы стараемся на ранней стадии внедрять разработки в практику.

Необходимость перевода российской экономики на инновационный путь развития обуславливает повышенные требования к обновлению научно-технической и производственной базы техногенных отраслей промышленности и энергетики. В области атомной энергетики эти требования прежде всего относятся к созданию более эффективных ядерных реакторов, использующих перспективные виды топлива, повышению безопасности обращения с ОЯТ и объектов ядерного топливного цикла, снижению экологических и радиационных рисков, связанных с эксплуатацией АЭС.

Большинство атомных реакторов работает на изотопе урана ^{235}U , содержание которого в природной урановой руде очень низкое (~0,7%). Уже в эпоху создания первых АЭС сложилось ясное понимание того, что устойчивое и долговременное развитие «мирного атома» возможно лишь на основе использования самого распространенного изотопа урана — ^{238}U . В настоящее время актуальным является переход атомной энергетики на новую платформу с широким применением реакторных установок на быстрых нейтронах. Существенными элементами этой технологической платформы должны стать новые эффективные технологии переработки ОЯТ, извлечения из него делящихся материалов и производства уран-плутониевого топлива требуемого состава и с заданными свойствами.

На международном уровне решению данной проблемы посвящен ряд исследовательских программ, объединенных под общим названием «Поколение IV». В Российской Федерации принята и действует Федеральная целевая программа (ФЦП) «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010—2015 годов и на перспективу до 2020 года». ИБРАЭ РАН с 2010 г. принимает участие в ФЦП и в реализуемом в ее рамках проекте «Прорыв» по разработке и обоснованию безопасности объектов и технологий, предназ-

наченных для замыкания ядерного топливного цикла. Задача Института состоит в обеспечении конструкторов, технологов, проектантов и эксплуатирующих организаций АЭС с РУ на быстрых нейтронах современными расчетными кодами. Такие коды необходимы для своевременной и качественной разработки проектов и обоснования их безопасности.

В соответствии с приказом Госкорпорации «Росатом» на базе ИБРАЭ РАН создан центр ответственности по реализации проекта «Разработка интегрированных систем кодов нового поколения для разработки и обоснования безопасности ядерных реакторов, проектирования АЭС, создания технологий и объектов ядерного топливного цикла», получивший краткое название «Коды нового поколения». При реализации проекта задействованы ведущие организации атомной отрасли, учебные центры, институты Российской академии наук:

- конструкторские: ОАО «НИКИЭТ», ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»;
- научные организации Госкорпорации «Росатом»: ОАО «ВНИИНМ», ОАО «НПО ЦКТИ», ОАО «ВНИПИ-промтехнологии»;
- федеральные государственные унитарные предприятия — российские научные центры: ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е. И. Забабахина», ГНЦ «РФ ТРИНИТИ», НИЦ «Курчатовский институт»;
- институты Российской академии наук: ОИВТ РАН, ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, ИВМ РАН, ИТ СО РАН;
- учебные центры: НИЯУ МИФИ и ряд других организаций.

РАСЧЕТНЫЕ КОДЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В рамках проекта «Коды нового поколения» в ИБРАЭ РАН разрабатывается линейка универсальных расчетных кодов для моделирования различных режимов

работы существующих и перспективных реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ КОД HYDRA-IBRAE/LM ДЛЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

ИБРАЭ РАН в тесной кооперации с организациями и предприятиями атомной отрасли разрабатывает и готовит к внедрению в промышленную эксплуатацию теплогидравлический системный расчетный код нового поколения HYDRA-IBRAE/LM, предназначенный для решения задач нестационарной теплогидравлики применительно к реакторным установкам и экс-

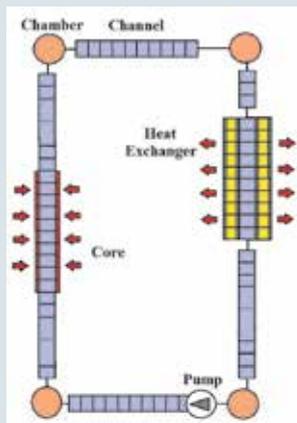
периментальным стендам с натриевым, свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями. Разрабатываемый код является универсальным, позволяет моделировать реакторные установки различного типа и обеспечивает детальное описание контуров быстрых реакторов и теплообменного оборудования, важного с точки зрения безопасной эксплуатации реакторной

установки. Расчетный код HYDRA-IBRAE/LM полностью соответствует современному уровню развития вычислительной техники и ориентирован на массовые вычисления с анализом неопределенностей. В настоящее время проводятся опытная эксплуатация расчет-

ного кода в конструкторских организациях атомной отрасли и его верификация на системе российских и международных тестов, что позволит подготовить первую версию расчетного кода HYDRA-IBRAE/LM к аттестации уже к 2015 г.



а)



б)



в)

Внешний вид (а) и расчетная схема (б) экспериментальной установки TALL; (в) — сравнение расчетов, выполненных с помощью кода HYDRA-IBRAE/LM, с результатами одного из экспериментов, проведенных на установке TALL

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ КОД ДЛЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

В рамках частного проекта «Коды нового поколения» в ИБРАЭ РАН проводится совместная с ОАО «ВНИИНМ» и ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» разработка на базе кода SFPR, усовершенствованного топливного кода БЕРКУТ. Он предназначен для численного моделирования термомеханического и физико-химического поведения отдельного твэла с различными видами топлива (диоксид урана, смешанное оксидное топливо, нитридное смешанное топливо) для перспективных активных зон реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем (БН и БРЕСТ).

Код может быть использован также для обоснования безопасности перспективных реакторов со свинцово-висмутовым теплоносителем СВБР.

При создании кода особое внимание уделяется использованию детализированных физических моделей как наиболее совершенных по сравнению с упрощенными корреляционными или параметрическими моделями. В настоящее время проводится верификация топливного кода БЕРКУТ на доступных экспериментальных данных.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ РАСЧЕТНЫЙ КОД ЕВКЛИД

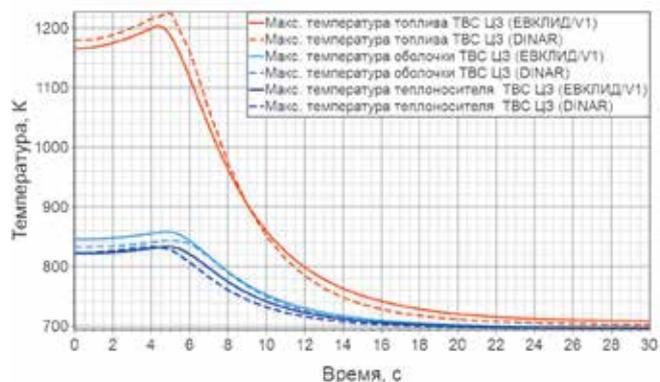
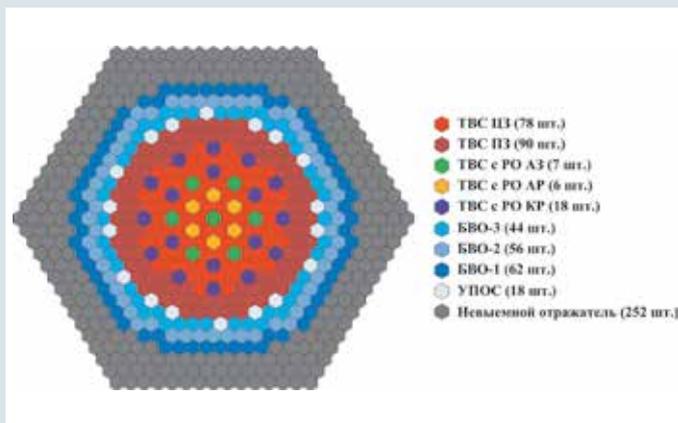
Интегральный расчетный код ЕВКЛИД предназначен для детерминистического анализа проектных, запроектных и тяжелых аварий для реакторных установок с жидкометаллическим теплоносителем в различных режимах их работы с учетом всех факторов, влияющих на безопасность реакторной установки.

установки, защитной оболочки, а также систем управления и защиты реактора при аварийных ситуациях, вызванных нарушением теплоотвода от активной зоны, несанкционированным введением положительной реактивности и другими исходными событиями. Расчетный код позволяет моделировать такие процессы, как нагрев теплоносителя, его кипение, повреждение и расгерметизация оболочки твэла, плавление и перемещение материалов активной зоны, распространение ПД под защитной оболочкой, их выход за ее пределы, распространение ПД в окружающей среде и их воздействие на персонал и население.

Вычислительной основой кода являются подробные физические модели установившихся и переходных теплогидравлических, нейтронно-физических, термомеханических и других процессов, важных с точки зрения безопасности реакторной установки. Они используются для описания поведения реакторной

Универсальный расчетный код может применяться для системного анализа поведения реакторной установки в различных режимах работы при решении задач конструирования, проектирования, обоснования безопасности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем и

обеспечения ядерной и радиационной безопасности объектов замкнутого ядерного топливного цикла. Расчетный код ЕВКЛИД может также использоваться при проведении практических работ в высших учебных заведениях, осуществляющих подготовку специалистов атомной отрасли.



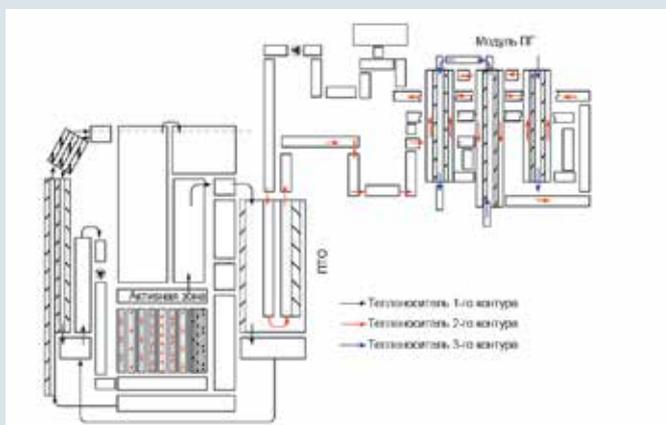
Картграмма активной зоны реакторной установки типа БРЕСТ и зависимости максимальной температуры теплоносителя, оболочки и топлива от времени для ТВС центральной зоны. Сравнение результатов расчетов кодами DINAR (ОАО «НИКИЭТ») и ЕВКЛИД

РАСЧЕТНЫЙ КОД СОКРАТ-БН ДЛЯ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

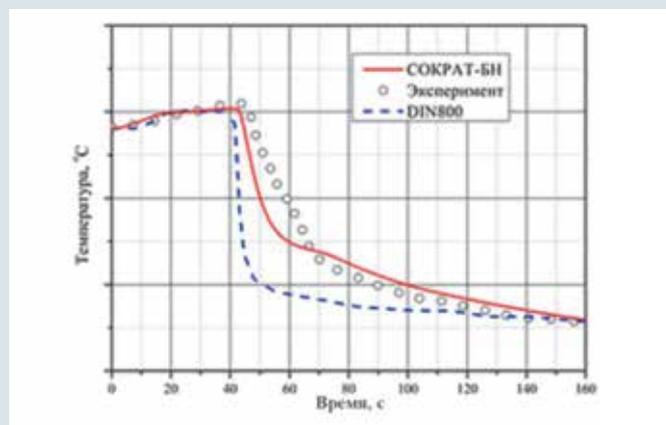
Интегральный код СОКРАТ-БН разрабатывается в ИБРАЭ РАН совместно с ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», ОАО «ОКБМ Африкантов», ГНЦ «РФ ТРИНИТИ», НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ МИФИ в рамках проекта «Коды нового поколения». Он представляет собой взаимосвязанную систему программных модулей на платформе расчетного кода СОКРАТ и предназначен для анализа безопасности РУ с натриевым теплоноси-

телем (БН-600, БН-800, БН-1200, МБИР). Интегральный код СОКРАТ-БН позволяет моделировать динамические процессы в реакторной установке при ее работе как в нормальных условиях эксплуатации, так и в аварийных режимах и при авариях.

В рамках работ по кросс-верификации проведено сравнение результатов расчетов ряда задач кодом



а)



б)

а) Расчетная схема РУ БН-600 Белоярской АЭС, использовавшаяся при кросс-верификации РК СОКРАТ-БН и кода DIN-800 в эксперименте по срабатыванию блока аварийной защиты; б) изменение температуры натриевого теплоносителя первого контура на выходе из активной зоны реактора (сравнение расчетов с экспериментом)

СОКРАТ-БН с российскими кодами, предназначенными для моделирования тяжелых аварий быстрых реакторов с натриевым теплоносителем (COREMELT, DIN-800). Анализ полученных результатов для эксперимента по срабатыванию блока аварийной защиты на БН-600 позволяет сделать вывод, что код СОКРАТ-БН описывает эксперимент точнее, чем аттестованный в НТЦ ЯРБ код DIN-800. Результаты были представлены на ряде российских и зарубежных конференций.

Одними из первых аттестованных в России программ для реакторов на быстрых нейтронах стали разработанные в ИБРАЭ РАН и входящие в состав кода СОКРАТ-БН программные модули ГЕФЕСТ и АСТIV, предназначенные для обоснования топливной кампании РУ БН-600. Первая версия интегрального кода СОКРАТ-БН, в состав которой входят также программные модули для расчета теплогидравлических процессов в натриевом теплоносителе, нейтронно-физических процессов и переноса продуктов деления в первом контуре,

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС GERA ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО

Развитие перспективных реакторных технологий следует увязывать с долгосрочными планами по захоронению радиоактивных отходов. Необходимость оптимизации ядерного топливного цикла (ЯТЦ) по критерию минимизации активности образующихся РАО может означать не только переоценку различных топливных циклов, но и введение дополнительных требований к рабочим характеристикам и направлениям развития ядерных реакторов на «тепловых» и быстрых нейтронах, к технологиям переработки ОЯТ и т. д.

Современный подход к обращению с радиоактивными и токсичными отходами предполагает проведение тщательного системного анализа безопасности технологий и объектов захоронения РАО. Вычислительную базу такого анализа составляют компьютерные коды, построенные на основе физических моделей процессов фильтрации и переноса радиоактивных веществ в геологических средах. Для моделирования процессов миграции радионуклидов в подземных водах в ИБРАЭ РАН разрабатывается программный комплекс нового поколения GeRa, реализующий высокоэффективные

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Необходимым условием успешной разработки моделей и аттестации кодов нового поколения является проведение экспериментальных исследований, позволяющих получать данные не только об осредненных, но и локальных характеристиках потока.

прошла опытную эксплуатацию в ОАО «ОКБМ Африкантов» и ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ». В настоящее время она проходит подготовку к аттестации.

К концу 2013 г. будет подготовлена расчетная схема РУ БН-1200 и выполнен расчетный анализ безопасности реакторной установки в режиме нарушения нормальной эксплуатации и в режиме проектной аварии. Параллельно с этим в ИБРАЭ РАН продолжается разработка программных модулей, предназначенных для моделирования процессов разрушения и плавления элементов активной зоны, анализа поведения твэла в штатных и аварийных режимах, моделирования выхода продуктов деления за пределы защитной оболочки АЭС, оценки радиационной обстановки, а также для описания процессов химического и термического взаимодействия ядерного топлива и теплоносителя. Эти модули войдут в состав второй версии интегрального кода СОКРАТ-БН.

численные методы дискретизации, построения адаптивных расчетных сеток, решения линейных и нелинейных систем. Программный комплекс оптимизирован для решения ресурсоемких задач на современных суперкомпьютерах с параллельной организацией. Он ориентирован на «мультифизичное» моделирование с возможностью учета процессов фильтрации и многокомпонентного переноса примеси в однородных и двухпористых средах, радиоактивного распада, конвекции и теплопереноса, химических взаимодействий в системе вода-порода, взаимодействия грунтовых и поверхностных вод.

Программный комплекс GeRa предполагается использовать при обосновании безопасности объектов замкнутого ЯТЦ и окончательной изоляции высокоактивных РАО. В дальнейшей перспективе возможности комплекса могут быть расширены на моделирование геомеханических, биологических и других процессов, способных повлиять на безопасное состояние захоронений РАО.

Специалисты ИБРАЭ РАН совместно с ИТ СО РАН (г. Новосибирск) выполнили хорошо инструментированный эксперимент по изучению трехмерного течения жидкости в вертикальном кольцевом канале с преградой. Также совместно с ИТ СО РАН проведены экспериментальные исследования теплообмена и гидро-

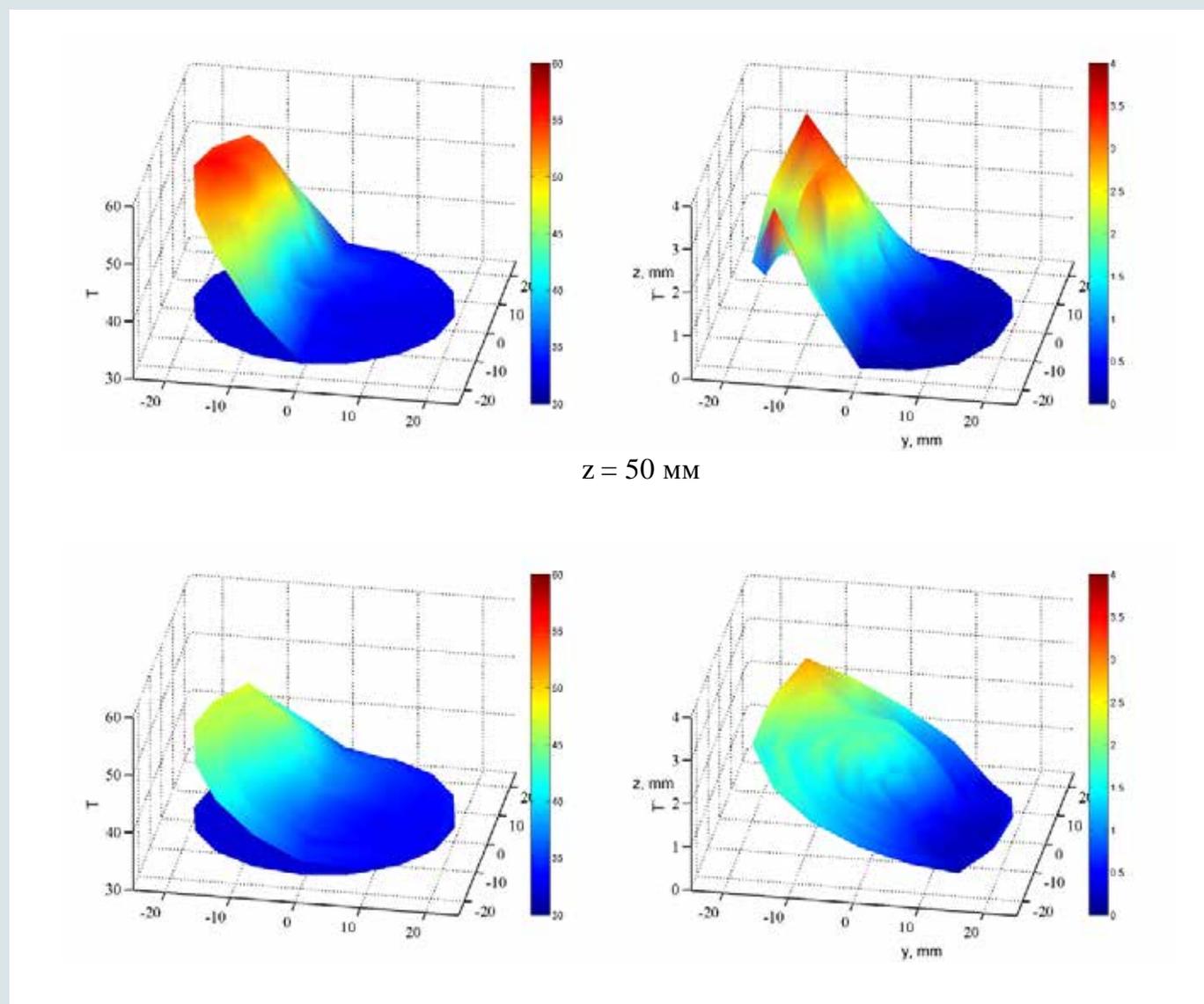
динамики при течении жидкостей с существенно различными числами Прандтля, моделирующие течения реальных теплоносителей в элементах реакторных установок. При измерении осредненных и пульсаци-

онных характеристик полей температуры и скорости использовались возможности цифровой видеосъемки, современной тепловизионной аппаратуры, методики микротермопарного зондирования.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатом работы является определение закономерностей однофазных вынужденных и свободно конвективных течений, в которых наиболее отчетливо выражается трехмерный характер течений. Получена база экспериментальных данных, включающая в себя распределение локальных осредненных и пульсационных характеристик течения, в том числе спектраль-

ных характеристик скорости и температуры, данных по локальному и интегральному теплообмену. Полученные результаты применяются для верификации CFD-кодов, используемых при гидродинамических расчетах реакторных установок в неизоэтермических режимах течения теплоносителя.



$z = 50$ мм

Пример результатов измерений эволюции профиля температуры по сечению вертикальной трубы при смешении струй жидкости с первоначально различной температурой



Слева направо: Фокин А. Л.; Дзама Д. В.; Филиппов М. Ф.; Чалый Р. В., зав. лабораторией; Тарасов А. Е.; Сороковикова О. С., д. ф.-м. н., зав. лабораторией; Виноградова Ю. Ю.; Семенов В. Н., д. ф.-м. н., зам. зав. отделением; Рыжов Н. И.



Озрин В. Д., к. ф.-м. н.; Токарев Ю. Н., к. т. н.; Дробышевский Н. И., к. ф.-м. н.



Научные основы организации систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования



Арутюнян Рафаэль Варназович

доктор физико-математических наук,
заместитель директора ИБРАЭ РАН по научной работе
и координации перспективных разработок,
руководитель Технического кризисного центра ИБРАЭ РАН

История создания ИБРАЭ РАН берет свое начало с деятельности экспертной группы ученых-физиков, которая под руководством Л. А. Большова приняла активное участие в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, продемонстрировав высокую эффективность в оценке и прогнозировании развития аварийных процессов в 4-м энергоблоке ЧАЭС и выработке практических мер по локализации аварии и организации радиационного мониторинга в ближней зоне ЧАЭС. В дальнейшем эта группа экспертов составила ядро нового Института, организационная структура и основные направления деятельности которого были во многом обусловлены результатами осмысления чернобыльского опыта. Поэтому вопросам аварийного реагирования в ИБРАЭ РАН всегда уделялось и уделяется особое внимание. С 1996 г. ИБРАЭ РАН является активным участником работ в рамках национальной системы аварийного реагирования в случае кризисных ситуаций на ядерно и радиационно опасных объектах, осуществляя научно-техническую поддержку КЦ Концерна «Росэнергоатом», ВГУП «СКЦ Росатома», НЦУКС МЧС России в вопросах защиты населения и территорий при возможных радиационных авариях.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИБРАЭ РАН В ОБЛАСТИ АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ И РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Более чем шестидесятилетний опыт развития отечественной и мировой атомной энергетики дает основания утверждать, что одним из ключевых факторов обеспечения безопасности ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) является создание и оптимизация системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования на чрезвычайные ситуации. Такая система предполагает наличие специализированных противоаварийных структур, организацию взаимодействия и оперативного обмена информацией между ними и органами государственной власти всех уровней, организацию научно-технической и экспертной поддержки принятия решений.

В соответствии с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» обеспечение радиационной безопасности населения и окружающей среды относится к числу приоритетных направлений развития страны. Это обуславливает необходимость постоянного совершенствования систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования.

К основным факторам, определяющим их эффективность, относятся:

- координация работы уполномоченных структур, осуществляющих функции аварийного реагирования, и органов власти на муниципальном, региональном и национальном уровнях;

- наличие специализированных центров, оперативно оказывающих квалифицированную научно-техническую и экспертную поддержку уполномоченным структурам и органам власти в принятии решений по защите населения и объектов окружающей среды;
- наличие автоматизированных систем радиационного контроля и высокотехнологичных программно-аппаратных комплексов оценки и прогнозирования чрезвычайных ситуаций с радиационным фактором;
- организация единого информационного пространства, обеспечивающего взаимодействие всех участников системы аварийного реагирования.

ИБРАЭ РАН развивает следующие научные направления в сфере аварийного реагирования:

- проводит фундаментальные и прикладные исследования по моделированию распространения радионуклидов в различных средах, в том числе воздушной и водной;
- разрабатывает и оптимизирует структуру автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО), создает программно-аппаратное обеспечение для них;
- разрабатывает мобильные комплексы радиационного мониторинга и радиационной разведки;



*Директор ИБРАЭ РАН
Большов Л. А. докладывает
Премьер-министру
Путину В. В. о системах
радиационного мониторинга*

- участвует в практической реализации территориальных и объектовых АСКРО, создаваемых на основе разработанных в ИБРАЭ РАН моделей, программных кодов и геоинформационных систем;
- принимает участие в проведении регулярных противоаварийных учений, осуществляемых в рамках федеральных целевых программ и международных проектов;
- обеспечивает через Технический кризисный центр ИБРАЭ РАН научно-техническую и экспертную поддержку мероприятий по аварийному реагированию на ЧС с радиационным фактором, осуществляемых на федеральном, региональном и отраслевом уровнях.

СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

С точки зрения минимизации последствий радиационных аварий на АЭС и других ЯРОО основополагающее значение имеет оперативность принятия решений и проведения мероприятий по защите населения и окружающей среды. Это обуславливает необходимость создания эффективных систем мониторинга радиационной обстановки в ближней и дальней зонах ЯРОО с применением современных программно-аппаратных средств и информационных технологий.

ИБРАЭ РАН совместно с НПП «Доза» и ЗАО «НПЦ «Аспект» проводит работы по созданию автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО) и разработке единых технических требований к таким системам с целью их унификации в соответствии с российскими и международными нормами. Основу АСКРО составляют стационарные измерители мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) излучения, необходимость унификации метрологических характеристик которых обусловлена специфика-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ АСКРО

МЕТЕОСТАНЦИИ

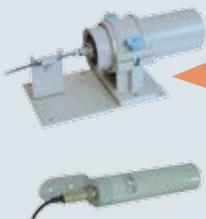


МК-15 (НПО «Тайфун») и WXT520 (Vaisala Oyj, Финляндия): измеряемая скорость ветра 0–50 м/с при погрешности измерения <3%, погрешность измерения температуры и относительной влажности воздуха 1% в диапазоне температур –40–+50 °С

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ИЛИ ОБЪЕКТОВАЯ АСКРО



ДОЗИМЕТРЫ



БДМГ-100, БДМГ-200, ДБГ-С11Д, ИРТ-М (НПП «Доза», Зеленоград), УДРГ-50 (НТЦ «Рион»): диапазон регистрируемых энергий: 0,05–3,0 МэВ; диапазон измерения: от 0,1 мкЗв/ч до 10 Зв/ч с относительной погрешностью ±15%

УДА-1АБ, УДГ-01, ПВС-01, «Бриз» (НПП «Доза»): диапазон измерения бета-активности (по ⁹⁰Sr) 0,1–10⁶ Бк/м³; УДС-Г (НПЦ «Аспект») для гамма-спектрометрического контроля воды

УСТАНОВКИ КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНОСТИ ВОЗДУХА И ВОДЫ



Стационарные измерители мощности дозы, применяемые в современных АСКРО, как правило, содержат блок детектирования и коммуникационный блок, обеспечивающий работу устройств индикации и передачу информации в центр управления АСКРО (кризисный центр) с использованием кабельных линий связи, радиоканалов, спутниковых и сотовых линий связи.

Минимальный диапазон измерения МАЭД, обеспечиваемый дозиметрами АСКРО, должен начинаться от 0,1 мкЗв/ч (значение, принятое в международной метрологической практике) и охватывать не менее чем три порядка величины при относительной погрешности дозиметров не более ±20% в диапазоне энергий измеряемого фотонного излучения от 60 кэВ до 1,25 МэВ. Верхняя граница диапазона может варьироваться от 0,1 мЗв/ч до нескольких мЗв/ч.

кой эксплуатации АСКРО (работа в полевых условиях, требование надежного измерения околофоновых значений МАЭД).

Стационарные системы радиационного мониторинга можно подразделить на два основных класса — объектовые АСКРО, предназначенные для контроля радиационной обстановки на промплощадке ЯРОО и в непосредственной близости от нее, и территориальные

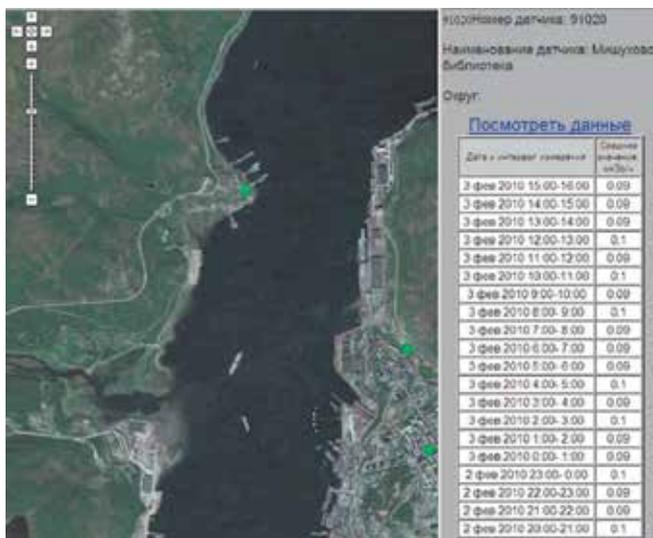
АСКРО, сфера действия которых охватывает целые регионы с большим количеством ЯРОО. В настоящее время активно развиваются перспективные системы гибридного мониторинга с использованием передвижных радиологических лабораторий и мобильных измерительных комплексов. Такие системы обеспечивают большую по сравнению со стационарными АСКРО оперативность управления и принятия решений.

ОБЪЕКТОВЫЕ АСКРО, РАЗРАБОТАННЫЕ ИБРАЭ РАН

Разработки объектовых АСКРО проводятся ИБРАЭ РАН с 1999 г. Первая из таких систем, созданная в рамках международной программы АМЕС (Arctic Military Environmental Cooperation), была введена в эксплуатацию в апреле 2004 г. Она развернута на базе ФГУП «Атомфлот» в Мурманске и предназначена для обеспечения радиационной безопасности при эксплуатации площадки временного хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) атомных подводных лодок российского ВМФ. В систему входят 8 постов контроля мощности дозы гамма-излучения, 2 поста контроля радиоактивного загрязнения воздуха на промплощадке, 3 установки контроля альфа- и бета-радиоактивных аэрозолей в вентиляционных системах, установка контроля радиоактивного загрязнения очищенных сбросных вод и автоматическая метеостанция. Программное обеспечение (ПО) для сбора и передачи данных радиационного мониторинга разработано в ИБРАЭ РАН, ПО для визуализации результатов мониторинга разработано в Норвежском институте энерготехнологий и адаптировано специалистами ИБРАЭ РАН.

В 2008—2011 гг. в рамках федеральной целевой программы специалистами ИБРАЭ РАН совместно с ОАО «ВНИПИЭТ», НПП «Доза» и ООО «ТехноЦентр сервис» была проведена модернизация АСКРО ФГУП «Атомфлот» с увеличением количества постов радиационного контроля на территории предприятия, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения и их интеграцией в автоматизированную систему с общим сервером и единым программным обеспечением.

Большинство объектовых АСКРО, спроектированных в ИБРАЭ РАН в рамках федеральных и международных целевых программ, размещено в Мурманской (СРЗ «Нерпа», пункты хранения реакторных отсеков в Заозерске, Гремихе, Сайда-губе, губе Андреева) и Архангельской (ОАО «ПО «Севмаш», ОАО «ЦС «Звездочка») областях, где ведутся масштабные работы по комплексной утилизации объектов российского атомного флота и экологической реабилитации загрязненных территорий и акваторий.



Информация с точек контроля в санитарно-защитной зоне ФГУП «Атомфлот» (окно программы «Монитор оператора»)

14 — количество объектовых АСКРО, разработанных ИБРАЭ РАН в период 2000—2013 гг. и принятых в эксплуатацию на объектах Минобороны России, Госкорпорации «Росатом» и других ведомств

20 — среднее количество постов контроля радиационной обстановки на этих объектах

ЯДЕРНО И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ В МУРМАНСКОЙ И АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТЯХ



Кроме того, совместно с РФЯЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (ВНИИЭФ) и ГНЦ «Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (НИИАР), входящими в структуру Госкорпорации «Росатом», были созданы объектовые АСКРО на территории этих институтов.

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ АСКРО

Территориальные АСКРО (ТАСКРО) составляют основу системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования на чрезвычайные ситуации с радиационным фактором, обеспечивая информационную поддержку действий федеральных и региональных органов исполнительной власти РФ по обеспечению радиационной безопасности населения и окружающей среды. Они проектируются с учетом возможности интеграции в единую автоматизированную систему контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации и предназначены для непрерывного автоматизированного контроля радиационной обстановки на территории региона или субъекта РФ, сбора, обработки и визуализации оперативных данных о радиационной обстановке, осуществления

СТРУКТУРА ТАСКРО

В типовую структуру территориальной системы автоматизированного контроля радиационной обстановки входят центр сбора и обработки информации (ЦСОИ) и стационарные посты радиационного и метеорологического контроля, размещенные в населенных пунктах или на местности. Передача данных от постов контроля в ЦСОИ осуществляется по телефонным линиям, сети Интернет, по беспроводным сотовым и радиоканалам.

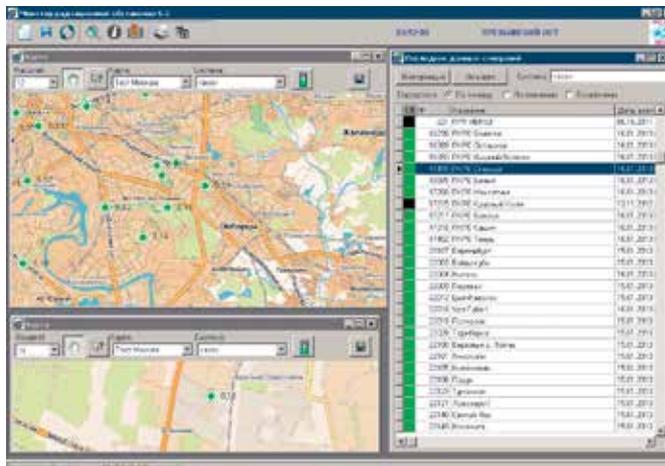
Аппаратная часть поста радиационного контроля представляет собой блок детектирования мощности дозы гамма-излучения и блок обработки и передачи данных (БОП), обеспечивающий связь с сервером ЦСОИ и рабочими станциями, предназначенными для отображения результатов мониторинга. К БОП могут также подключаться наружное электронное информационное табло и автоматическая метеостанция (определяет направление и скорость ветра, измеряет атмосферное давление, температуру и относительную влажность воздуха).

В качестве блоков детектирования мощности Ambientного эквивалента дозы гамма-излучения в разработанных в ИБРАЭ РАН системах АСКРО применяются серийно выпускаемые и включенные в государственный реестр

22 — количество субъектов Российской Федерации, в которых размещены территориальные системы АСКРО и аварийного реагирования, созданные ИБРАЭ РАН совместно с Госкорпорацией «Росатом», МЧС России, НПО «Тайфун» в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности России на 2008 год и на период до 2015 года» и ФЦП «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года»

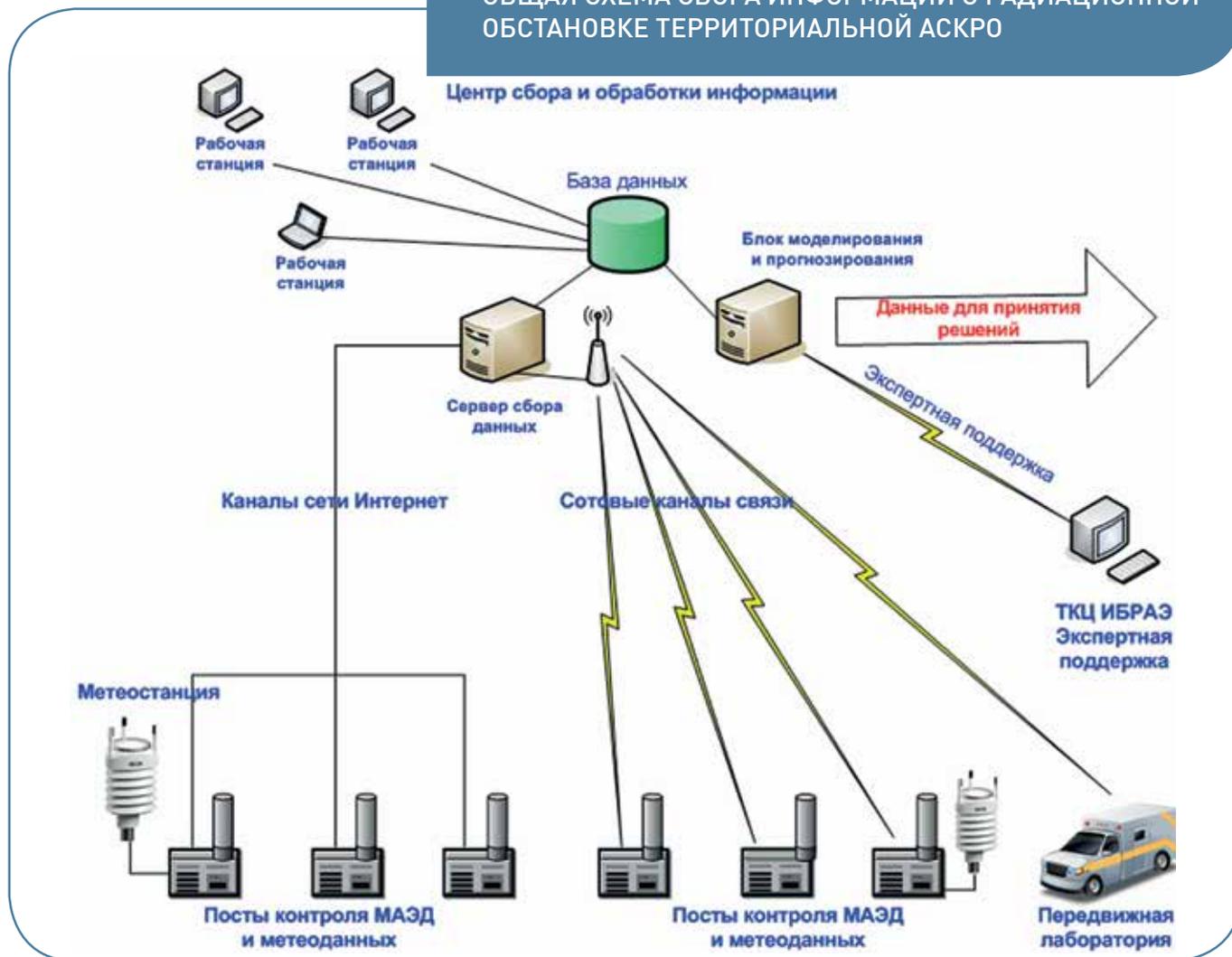
информационного обмена с другими подсистемами, федеральными, региональными и ведомственными кризисными центрами.

средств измерений дозиметры гамма-излучения БДМГ-200, ДБГ-С11Д, измерители радиационного фона ИРТ-М (производства НПП «Доза», Зеленоград) и дозиметры УДРГ-50 (НТЦ «Рион»). Они обеспечивают измерение МАЭД в диапазоне 0,1—10⁷ мкЗв/ч с относительной погрешностью не более ±25%. Для сбора метеорологических данных применяются сертифицированный автоматический метеоконкомплекс МК-15 (НПО «Тайфун») либо метеостанция «Vaisala Oyj WXT520» (Финляндия), достоинством которой является отсутствие движущихся деталей.



Многооконный интерфейс программы «Монитор РО»

ОБЩАЯ СХЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ АСКРО



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТАСКРО

Разработанное ИБРАЭ РАН программное обеспечение предназначено для сбора и обработки данных, поступающих с локальных постов радиационного контроля ТАСКРО, проверки состояния и автоматического восстановления работоспособности блоков детектирования, ведения базы данных, визуализации (отображения) радиационной обстановки с использованием современных ГИС-технологий, обмена данными с другими системами контроля радиационной обстановки. Для визуализации в реальном времени результатов контроля радиационной обстановки служит програм-

ма «Монитор радиационной обстановки», которая устанавливается на рабочей станции оператора ТАСКРО. Многооконный Windows-интерфейс программы включает в себя панель управления, окно географической карты и окно текущих значений датчиков. Программа позволяет отображать данные о радиационной обстановке в графическом и табличном виде с географической привязкой, формировать отчеты и оперативные тренды, контролировать текущее состояние отдельных элементов АСКРО и системы в целом.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНШЕТНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ ДЛЯ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА

Разработанное в ИБРАЭ РАН на базе геоинформационных технологий web-приложение «Сервер web-мониторинга» предназначено для установки на мобильных устройствах (планшетных компьютерах и

смартфонах) и обеспечивает дежурному персоналу центров управления АСКРО возможность осуществлять удаленный мониторинг радиационной обстановки.

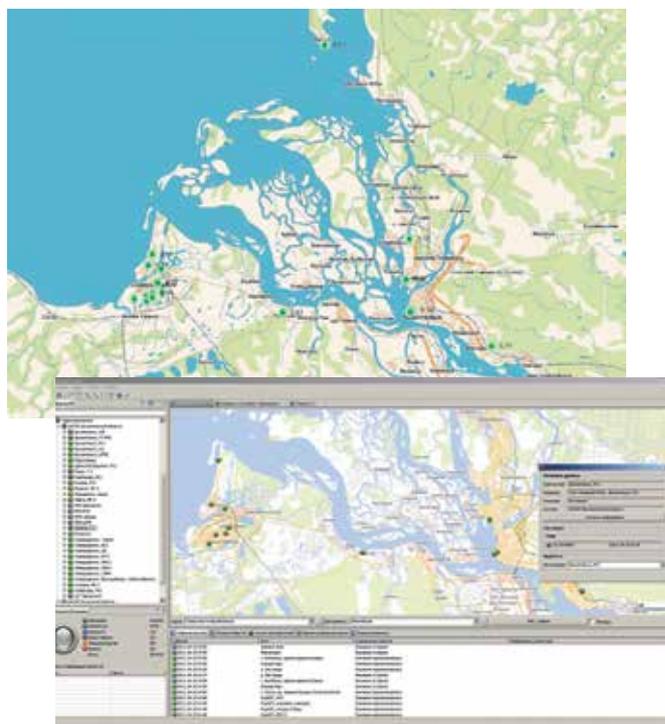
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ АСКРО, СОЗДАННЫЕ С УЧАСТИЕМ ИБРАЭ РАН

В 2005—2008 гг. в Мурманской области развернута ТАСКРО, разработанная ИБРАЭ РАН в рамках международного проекта «Усовершенствование системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования Мурманской области». В ходе последующей модернизации системы было увеличено количество контрольных постов мощности дозы гамма-излучения и количество автоматических метеостанций.

Организован взаимообмен данными с расположенными в регионе ведомственными системами радиационного мониторинга (в частности, с АСКРО Кольской АЭС). Центр сбора и обработки информации развернут на базе Мурманского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Предусмотрены каналы передачи данных в Кризисный центр управления МЧС России по Мурманской области



Посты контроля Мурманской территориальной АСКРО



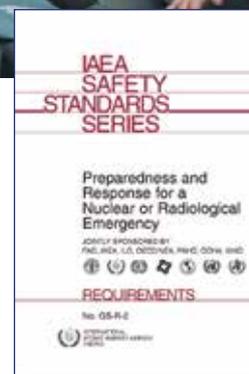
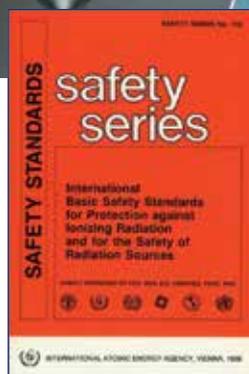
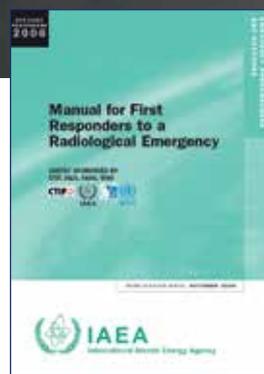
Посты контроля Архангельской территориальной АСКРО



И. А. Орлов
Губернатор Архангельской области

Каждый житель Архангельской области может чувствовать себя в полной безопасности рядом с предприятиями, прославившими область как колыбель атомного подводного флота России. Реализация Проекта позволила внедрить на всех уровнях самые совершенные инструменты, направленные на обеспечение безопасности населения, персонала предприятий и окружающей среды при любых инцидентах, связанных с использованием атомной энергии.

Системы Мурманской и Архангельской областей были рекомендованы миссией МАГАТЭ в качестве моделей организации подобных систем в других регионах России. Подводя в июле 2011 г. итоги реализации международного проекта «Усовершенствование системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования в Архангельской области», эксперты МАГАТЭ подчеркнули, что проект «...уникален как по количеству участников, так и по охвату территорий. Организация работ по проекту и полученный результат заслуживают самой высокой оценки».



(ГУ МЧС) и в Ситуационный центр Правительства Мурманской области.

В 2008—2010 гг. ИБРАЭ РАН участвовал в работах по реализации международного проекта «Усовершенствование системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования Архангельской области». Была создана территориальная система АСКРО и аварийного реагирования, в которую входят 25 постов контроля МАЭД, две автоматические метеостанции и ЦСОИ, размещенный в Архангельском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Данные о радиационной обстановке поступают также

в Кризисный центр ГУ МЧС и в Ситуационный центр Правительства Архангельской области.

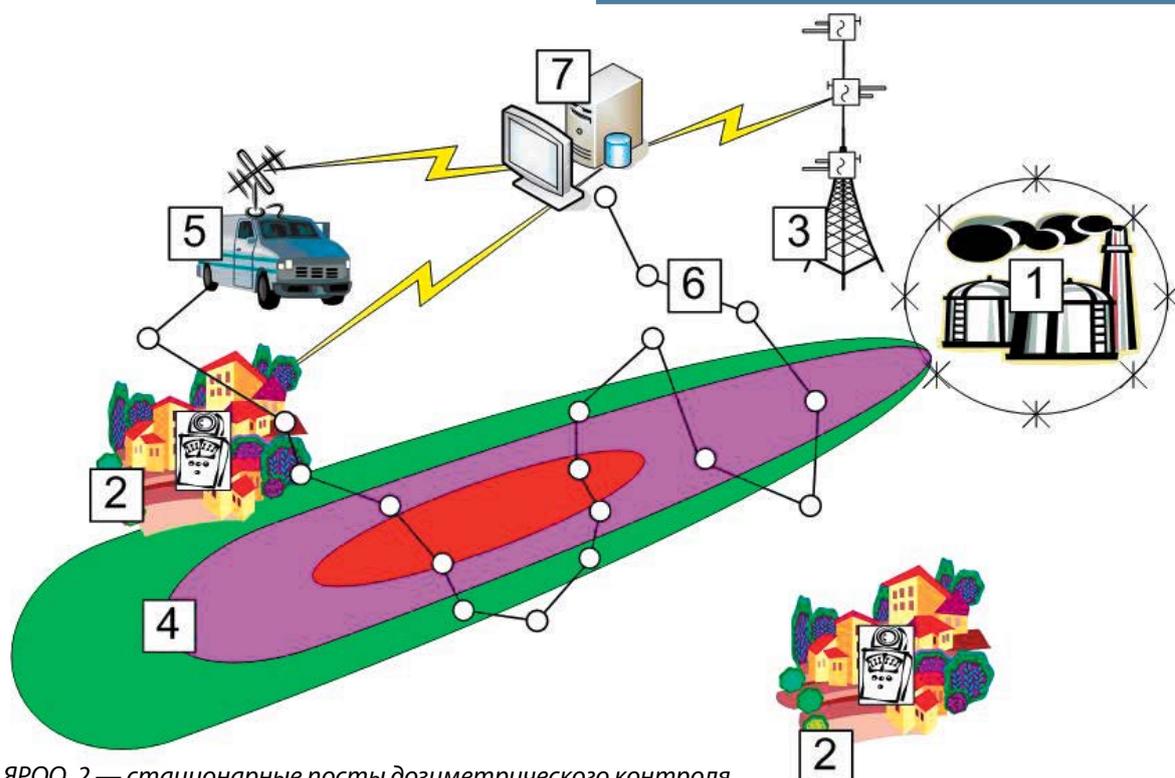
Всего с 2005 по 2013 гг. в рамках различных федеральных и международных проектов силами ИБРАЭ РАН (или при активном участии его специалистов) совместно с Росатомом, МЧС России, Росгидрометом в различных субъектах Российской Федерации было создано 22 территориальных системы АСКРО и аварийного реагирования, а также разработано совместно с НПО «Тайфун» Росгидромета программное обеспечение для постов контроля и центров управления ТАСКРО.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА АСКРО

Развитие новых производств ведет к неуклонному увеличению количества ЯРОО и возрастанию исходящей от них опасности, поэтому при создании систем АСКРО необходимо применять наиболее эффективные технологии радиационного мониторинга.

Исследования ИБРАЭ РАН в области разработки перспективных концепций мониторинга имеют большое научное и практическое значение и могут стать основой для реализации систем АСКРО нового поколения.

СТРУКТУРА ГИБРИДНОГО МОНИТОРИНГА



1 — ЯРОО, 2 — стационарные посты дозиметрического контроля, 3 — стационарная метеомачта в непосредственной близости от ЯРОО, 4 — радиоактивное загрязнение окружающей среды (след) при аварийном выбросе, 5 — ПРЛ, 6 — маршрут движения ПРЛ и точки проведения измерений, 7 — ЦСОИ АСКРО

ГИБРИДНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

В концепции так называемого гибридного мониторинга АСКРО рассматривается как единый измерительно-расчетный комплекс, обеспечивающий непрерывный процесс адаптации рабочей модели распространения радионуклидов к конкретным условиям по результатам измерений на местности. Структура мониторинга направлена на решение следующих задач: своевременное, уже на ранней фазе развития аварии, обнаружение атмосферного выброса (или жидкого сброса) радионуклидов; экспресс-оценка активности источ-

ника или мощности дозы; отслеживание радиационной обстановки целевым образом в зоне фактического радиоактивного загрязнения.

В отличие от типовых схем мониторинга основным средством проведения измерений являются передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ). Стационарные посты контроля используются для определения формы радиационного следа на местности.

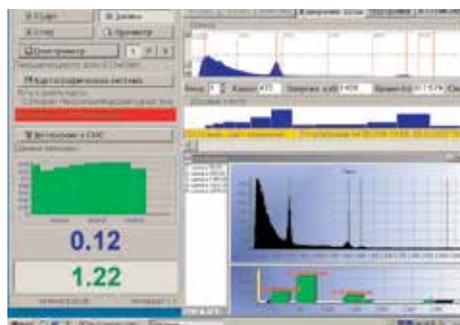
ПЕРЕДВИЖНЫЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ

Передвижные радиометрические лаборатории, действующие в составе объектовых и территориальных АСКРО, используются для уточнения данных, получаемых от стационарных постов радиационного контроля, а также для проведения радиационной разведки вне зоны действия стационарных постов контроля. Применение ПРЛ значительно повышает эффектив-

ность АСКРО и оперативность принятия решений субъектами аварийного реагирования.

ИБРАЭ РАН совместно с НПП «Доза», ООО «Автоспектр-НН» и ООО «Автолик» разработаны и введены в эксплуатацию более двадцати передвижных радиометрических лабораторий на базе шасси микроавтобу-

ПЕРЕДВИЖНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ



Установка «Гамма-сенсор» на базе защищенного ПК Advantech с блоками детектирования БДЭГ-4 и БДМГ-200 и рабочий экран программы «Сенсор»

сов или автомобилей повышенной проходимости. Они предназначены для автономной работы в полевых условиях и выполнения следующих основных задач:

- обнаружение и локализация радиоактивных источников и загрязнений;
- картографирование границ загрязненных территорий;
- определение характеристик радиоактивных загрязнений;
- отбор проб почвы, воды и воздуха;
- передача данных измерений в кризисные центры в режиме реального времени.

В комплект ПРЛ входят измерительное и дозиметрическое оборудование, компьютерная система (промышленный защищенный компьютер «Advantech» PPC-154T или аналогичный) со встроенным приклад-

ным ПО, средства видеофиксации, навигации, спутниковой и мобильной связи, устройства отбора и экспресс-анализа проб воздуха, воды и грунта. Основным измерительным средством является спектрально-чувствительная дозиметрическая установка «Гамма-сенсор», которая обеспечивает проведение гамма-съемки местности, определение нуклидного состава источника радиоактивного загрязнения, точную географическую привязку измерений с нанесением данных на электронную карту, ведение базы данных и передачу данных измерений в кризисный центр в режиме реального времени.

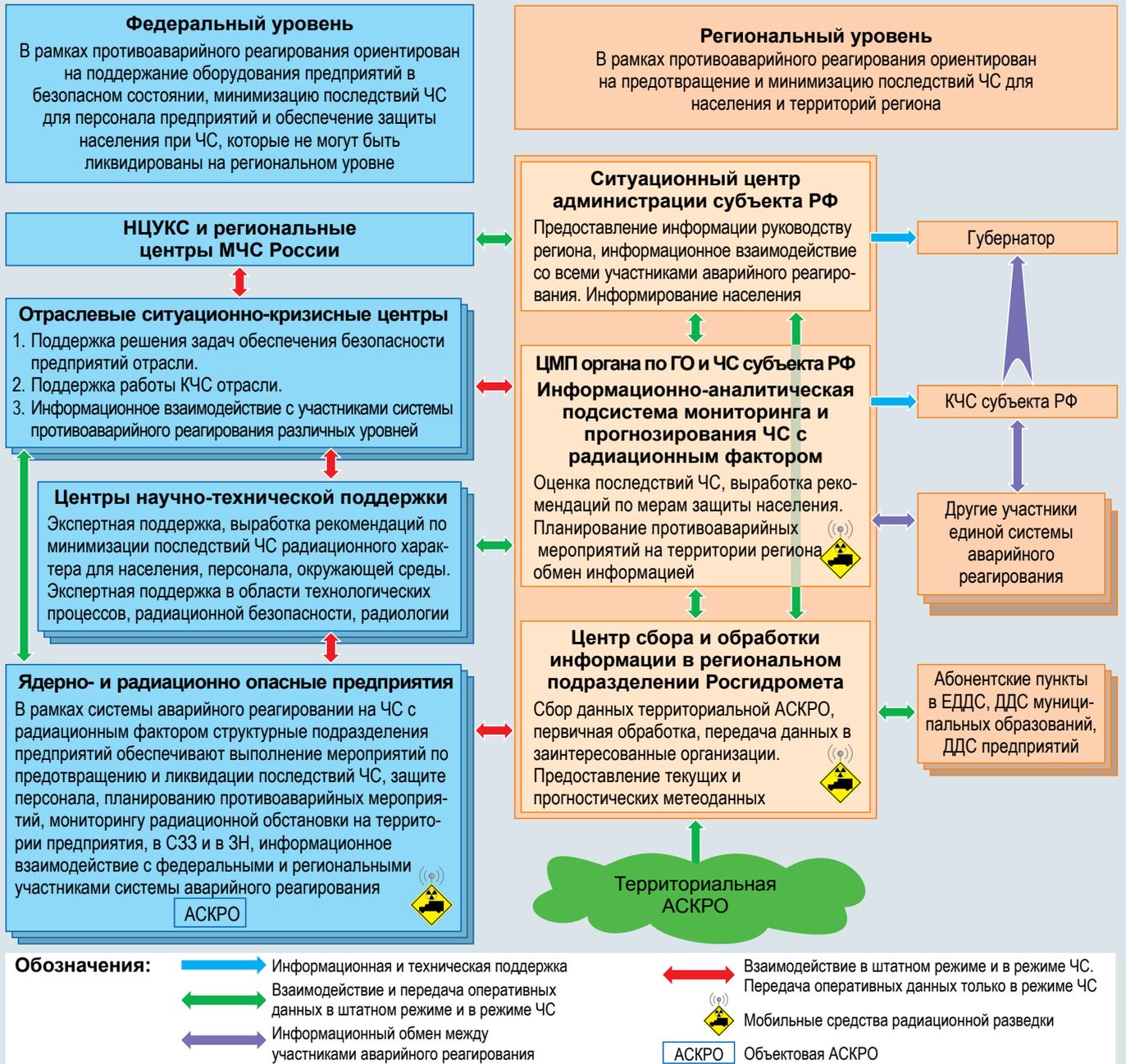
Для работы с установкой «Гамма-сенсор» в НПП «Доза» создана специализированная программа «Сенсор». Она обеспечивает управление аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и спутниковой навигационной системой GPS, расчет мощности эквивалентной дозы в точке размещения детектора и оценку вклада излучения радионуклидов в дозу, отображение измеренных энергетического и дозового гамма-спектров с возможностью их масштабирования.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ

Сложность и наукоемкость атомных технологий предъявляют специфические требования к организации служб аварийной готовности, уровню квалификации персонала и особенно к качеству научно-технического обеспечения радиационного мониторинга и аварий-

ного реагирования. От выполнения этих требований напрямую зависит эффективность принятия решений по защите населения при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС) с радиационным фактором. Задача научно-технического обеспечения аварийного реа-

МЕСТА И РОЛИ УЧАСТНИКОВ РОССИЙСКОЙ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧС С РАДИАЦИОННЫМ ФАКТОРОМ



гирования состоит в повышении эффективности и качества принятия решений при ЧС с радиационным фактором, повышении оперативной готовности органов управления и сил территориальной подсистемы единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), выработке рекомендаций по минимизации радиологических и социально-экономических последствий ЧС и информированию общественности по вопросам ядерной и радиационной безопасности.

ИБРАЭ РАН является одним из признанных мировых лидеров в области исследования физических процессов распространения радионуклидов в различных средах при аварии на АЭС и других ЯРОО, разработки и создания программных комплексов оценки и прогнозирования радиационной обстановки, моделирования сценариев радиационных аварий и выработки мер по защите населения. С 1996 г. в ИБРАЭ РАН действует Технический кризисный центр, осуществляющий круглосуточную научно-техническую поддержку участников системы аварийного реагирования.

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Для решения задач научно-технической поддержки мероприятий по защите населения и окружающей среды при чрезвычайных ситуациях с радиационным фактором в ИБРАЭ РАН совместно с Росатомом и МЧС России создан комплекс информационных и программно-технических средств, который широко используется в практической работе ТКЦ ИБРАЭ РАН. Его основу составляют компьютерные расчетные коды, предназначенные для оценки радиационной обстановки в зоне аварии, прогнозирования доз облуче-

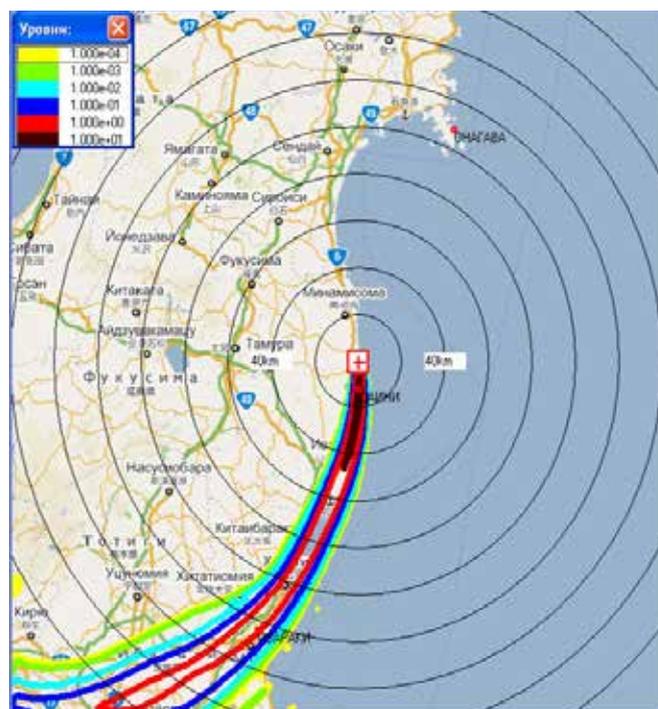
ния населения, выработки рекомендаций по мерам радиационной защиты. Справочно-информационный компонент комплекса включает в себя банк электронных карт и базы данных, содержащие описания характеристик ЯРОО и территорий их размещения, радиологические сценарии аварий, нормативно-техническую документацию.

В состав программно-технического комплекса ТКЦ ИБРАЭ РАН входят следующие программные ресурсы:

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ВЫБРОСОМ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

Программное средство, реализующее лагранжеву траекторную стохастическую модель атмосферного переноса примесей, позволяет рассчитывать распространение радионуклидов на расстояния в десятки и сотни километров (как в ближней, так и в дальней зоне ЯРОО) с учетом влияния рельефа местности, направления и силы ветра, выпадения атмосферных осадков в зоне радиоактивного следа. Оно составляет основу интегрального расчетного кода НОСТРАДАМУС и предназначено как для оперативного, в реальном времени, анализа ЧС с атмосферным выбросом радиоактивных веществ, так и для долгосрочного прогнозирования радиационной обстановки. Результаты расчетов выводятся в наглядном виде на картографической основе.

Программный комплекс НОСТРАДАМУС верифицирован на экспериментальном материале, составляющем более 1000 измерений приземных концентраций радиоактивных примесей, имеет аттестационный паспорт Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности и может быть использован в более широком по сравнению со стандартными методиками диапазоне условий распространения радионуклидов.



Оценка параметров радиационной обстановки при аварии на АЭС «Фукусима-1» по модели НОСТРАДАМУС

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Программа, разработанная на основе гауссовой модели атмосферного переноса, выдает в цифровом, табличном и картографическом виде прогнозные значения плотностей загрязнения (суммарные и по радионуклидам) поверхности земли, значения эффективных эквивалентных доз облучения на все тело и на органы (щитовидная железа, гонады, легкие, красный костный мозг и др.) для различных возрастных групп населения в зависимости от времени.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ РАДИОАКТИВНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСАХ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ЯРОО

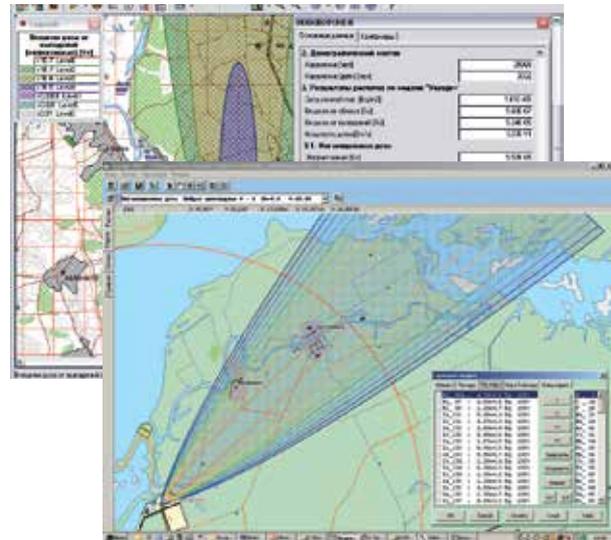
Программное средство нового поколения предназначено для экспресс-оценки последствий радиационных аварий (расчет интегральной концентрации радиоактивной примеси, мощности дозы, ожидаемых ингаляционных доз и доз облучения по пищевым цепочкам) и кратковременных выбросов радиоактивных веществ в атмосферу в ближней зоне ЯРОО (на расстояниях до 30 км). Особенности программы являются улучшенная параметризация полуэмпирической гауссовой модели атмосферного переноса радиоактивной примеси, высокая скорость работы и учет полидисперсности примеси. Это дает возможность проводить детальное моделирование процессов диффузии радионуклидов в приземном слое в условиях сложного рельефа местности, а также при оценке радиационных аварий, сопровождающихся взрывом.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БРИЗ

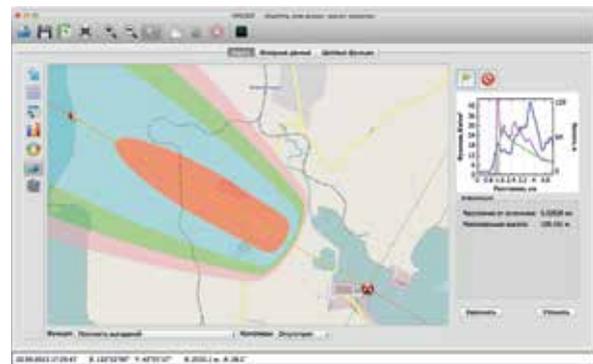
Инженерный программный комплекс БРИЗ предназначен для оперативного расчета дозовых характеристик (экспозиционной дозы и МАЭД) полей ионизирующего фотонного излучения, создаваемых точечными, линейными, поверхностными и объемными источниками с равномерным распределением мощности. Расчет осуществляется как при наличии защиты, так и без нее, а также с учетом рассеянного излучения, при этом скорость расчета по коду БРИЗ на порядок выше скорости расчета по аттестованному коду MicroShield (США).

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА КОНВЕРТ/ПИОНЕР

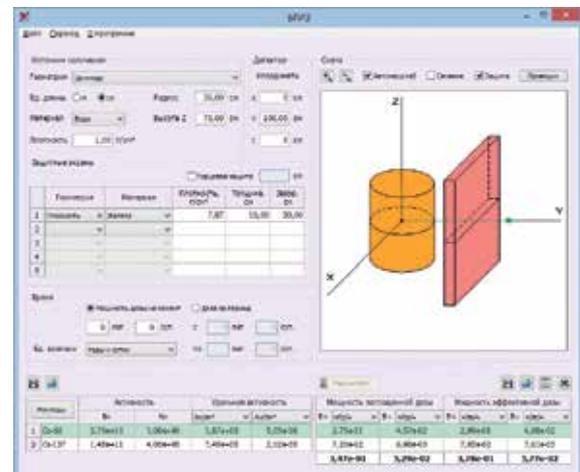
В рамках научно-технической поддержки мероприятий по радиационному мониторингу и аварийному реагированию значимое место отведено созданию компьютерных симуляторов и систем имитации послеварийной радиационной обстановки, необходимых



Пример моделирования радиационной обстановки



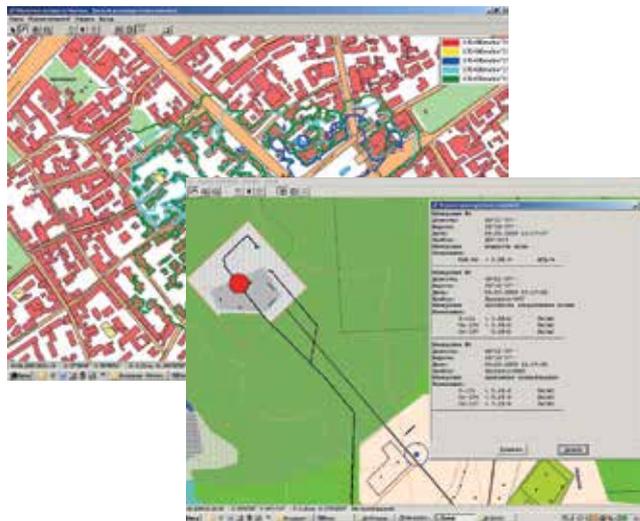
Тестовый расчет плотности выпадений ^{60}Co в результате аварии реактора АПЛ, сопровождавшейся выбросом радионуклидов в атмосферу в бухте Чажма



Пример рабочего окна ПК БРИЗ при расчете задачи с объемным цилиндрическим источником ионизирующего излучения и плоской защитой

для тренировок персонала кризисных центров и при проведении комплексных противоаварийных учений. Наиболее совершенным программным средством данного назначения является разработанная ИБРАЭ РАН система «Пионер», обеспечивающая имитацию последствий аварии на ЯРОО с генерацией данных оперативной радиационной разведки местности в зоне радиоактивного следа.

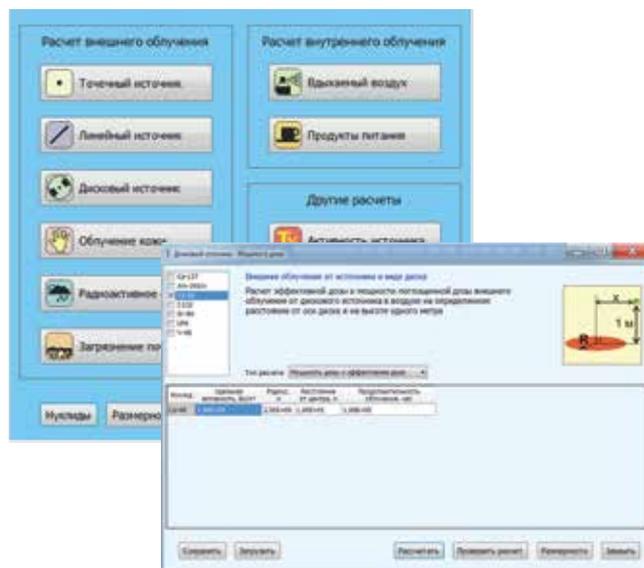
Программная система «Пионер» построена на базе ГИС-технологий, поддерживает загрузку и масштабирование карт местности в векторном формате, реализует эффективный алгоритм координатного преобразования и позволяет генерировать в режиме реального времени результаты измерений мощности дозы на открытой местности и гамма-спектрометрического анализа проб почвы и воздуха в течение первых суток после условной аварии.



Примеры рабочих экранов системы Пионер с указанием уровней мощности дозы гамма-излучения

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДОЗА+

Предназначено для расчета активности источника радиационного загрязнения и проведения экспресс-оценки дозовых нагрузок на население в начальный период радиационной аварии. Использование рекомендованной МАГАТЭ методики IAEA-TECDOC-1162/R позволяет проводить быстрые инженерные расчеты дозовых нагрузок на человека от источников бета- и гамма-излучения простейшей геометрии (точечных, линейных, дисковых) на различных расстояниях от источника, а также выполнять расчет доз внутреннего облучения вследствие поступления радиоактивных веществ с вдыхаемым воздухом и по пищевой цепочке.

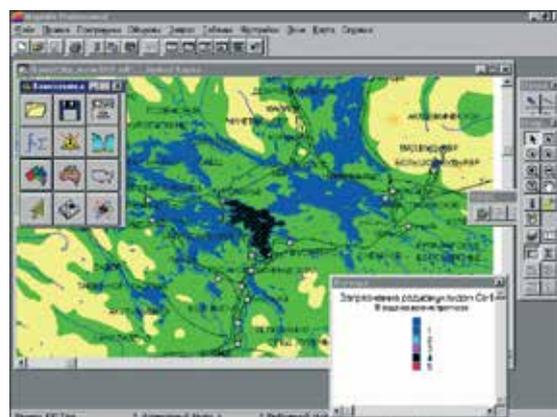


Программное средство Доза+

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КАССАНДРА

Актуальной проблемой радиоэкологии является моделирование миграции радиоактивных и токсичных веществ в водной среде. Разработанный в ИБРАЭ РАН программный комплекс (ПК) Кассандра предназначен для расчета уровней загрязнения рек и водоемов при аварийных сбросах радиоактивных веществ, оценки доз облучения населения при водопользовании, экспресс-анализа аварийных ситуаций, происходящих на различных этапах жизненного цикла ЯРОО.

ПК Кассандра использует двухкамерные (водная масса/слой донных отложений) модели миграции радионуклидов в водных объектах (река/водоем), учитывающие основные физико-химические процессы в них и обеспечивающие проведение расчетов с различным уровнем детализации входных данных. Блочная структура комплекса позволяет включать в него сторонние модели рек и водоемов. Он интегрирован на базе ГИС-технологий с моделями атмосферного переноса



Расчет доз. Отображение на карте результатов расчета ПК Кассандра

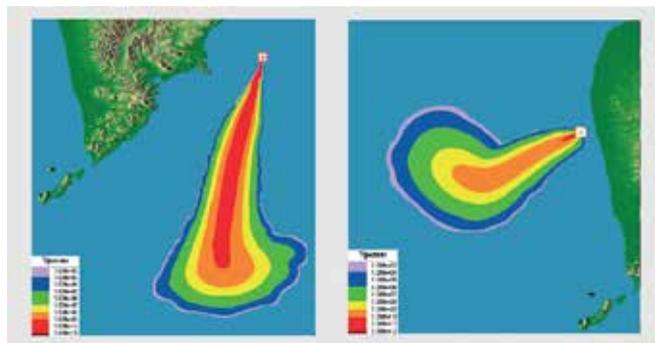
радионуклидов (в частности, с кодом НОСТРАДАМУС), получая от них входные данные о выпадении радиоактивных веществ в водные объекты и их водосборы.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС НЕПТУН

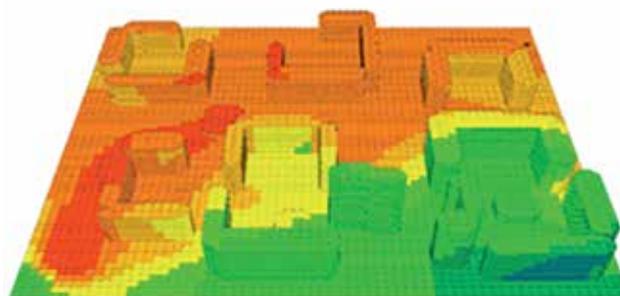
Решение многих задач радиационного мониторинга и аварийного реагирования связано с необходимостью расчета миграции радионуклидов в морской (океанической) среде. В основе программного комплекса НЕПТУН лежит лагранжева стохастическая модель крупных частиц, которая учитывает характерные особенности рассеивания примеси в квазиоднородном приповерхностном слое перемешивания, изменчивость морских и океанских течений, эффекты турбулентности на малых глубинах и вблизи береговой линии. ПК Нептун используется при анализе безопасности объектов атомного флота и оценке последствий радиационных аварий в морях и океанах.

ТРЕХМЕРНОЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ИЛИ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

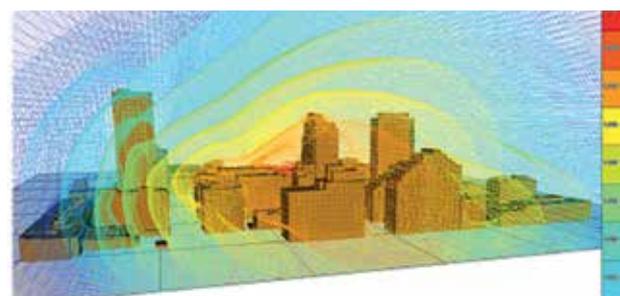
Большинство моделей атмосферного переноса радионуклидов, используемых при решении практических задач радиационного мониторинга и аварийного реагирования, не описывают аэродинамических эффектов, возникающих при обтекании препятствий (зданий и сооружений), и неприменимы в условиях городской и индустриальной застройки. Между тем с увеличением количества ЯРОО в мире и с возрастанием угрозы радиологического терроризма возникает настоятельная необходимость адекватного прогнозирования последствий ЧС с радиационным фактором в мегаполисе. Современный уровень развития вычислительной техники позволяет реализовать наиболее эффективный метод прогнозирования, основанный на численном решении трехмерных уравнений Навье—Стокса с использованием моделей турбулентности — CFD-кодов. В ИБРАЭ РАН разработан и верифицирован CFD-код с моделями турбулентности типа LES и RANS, использующий простые однородные сетки, и создана информационно-моделирующая система поддержки принятия решений по защите населения при радиационных авариях, включающая в себя базу данных цифровых 3D-моделей промышленных площадок и элементов городской застройки, модули расчета концентраций и плотности выпадения радиоактивных веществ и визуализации результатов расчета.



Примеры рабочего окна программного комплекса Нептун



Моделирование переноса загрязнителя в городских условиях с применением 3D-технологий



Моделирование распространения загрязнения в условиях реальной городской застройки. Верификация 3D-модуля атмосферного переноса примеси на натурном эксперименте в Оклахоме, США



Фрагмент импортированной карты OpenStreetMap

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Современные программно-технические комплексы для систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования разрабатываются на основе технологии геоинформационных систем (ГИС). Основным рабочим интерфейсом ГИС-приложения является электронная карта, через которую можно получить доступ ко всей имеющейся информации по интересующим объектам, а также наглядно отобразить результаты анализа и моделирования в рамках данного приложения.

В ИБРАЭ РАН в течение длительного времени проводятся работы по созданию и пополнению единого банка электронных карт (БЭК) в формате широко распространенной в России и мире коммерческой ГИС «MapInfo». Сегодня банк электронных карт ИБРАЭ включает в себя большое количество векторных и растровых карт и планов различных масштабов:

- обзорные карты мира (масштабов 1:30 000 000, 1:1 600 000);
- обзорные карты России и стран СНГ (масштабов 1:1 000 000, 1:8 000 000);
- карты регионов России (масштабов 1:1 000 000, 1:100 000, OpenStreetMap);
- карты окрестностей ЯРОО России (масштабов 1:100 000, 1:200 000);
- отдельные номенклатурные листы карт различных масштабов (1:1 000 000, 1:200 000);
- отдельные тематические слои, растровые карты, планы и спутниковые снимки.

МОБИЛЬНЫЙ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Одним из современных технических решений ИБРАЭ РАН в области аварийного реагирования стало создание мобильного программно-технического комплекса поддержки эксперта по радиационной безопасности. Комплекс реализован на базе защищенного портативного компьютера (Panasonic Toughbook CF-30), к которому подключены блок детектирования (БДМГ-200) для измерения мощности AMBIENTной дозы гамма-излучения и модуль географической привязки (на базе GPS-приемника).

Прикладное ПО мобильного комплекса позволяет проводить экспресс-анализ радиационной обстановки и передавать его результаты в центр научно-технической поддержки (ТКЦ ИБРАЭ РАН), что обеспечивает оперативность и высокое качество принятия решений в случае возникновения чрезвычайной ситуации с радиационным фактором.



Развертывание мобильного комплекса в полевых условиях внутри транспортного контейнера

СПРАВОЧНАЯ СИСТЕМА НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО АВАРИЙНОМУ РЕАГИРОВАНИЮ

Предназначена для информационного обеспечения территориальных систем аварийного реагирования и радиационного мониторинга и позволяет хранить, выполнять поиск и отображать тексты и реквизиты нормативных документов, а также стандартов, применяемых на территории России и регламентирующих деятельность единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС на различных уровнях организации. Система отличается информационной

полнотой и содержит большое количество документов по теме, в том числе законодательные акты федерального уровня, документы министерств, ведомств, АО, предприятий и организаций, нормативные документы, стандарты и методические руководства, описания территориальных систем аварийного реагирования, международные документы и публикации МАГАТЭ.

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТКЦ ИБРАЭ РАН

Включает в себя аппаратные средства, необходимые для успешного решения задач научно-технической поддержки участников системы аварийного реагирования:

- современные автоматизированные рабочие места персонала;
- систему видеоконференцсвязи и спутниковой связи;
- оборудование для аудио- и видеопрезентаций;
- серверное и коммуникационное оборудование;
- кластерную вычислительную установку ИБРАЭ РАН для ресурсоемких вычислений;

- систему бесперебойного электропитания на основе дизель-генераторной установки;
- комплекты дозиметрического оборудования.

45 — общая численность сотрудников ТКЦ ИБРАЭ РАН, в том числе: **6** — докторов наук и **11** — кандидатов наук, **20** — число экспертов ТКЦ, обеспечивающих режим круглосуточного дежурства



Взаимодействие ТКЦ ИБРАЭ РАН с территориальными системами аварийного реагирования (ТСАР), отраслевыми и ведомственными кризисными и аналитическими центрами



Осипьянц Игорь Андреевич
кандидат физико-математических наук,
заместитель директора по научным основам
систем обеспечения аварийной готовности и реагирования

В структуре ИБРАЭ РАН его Технический кризисный центр является подразделением, обеспечивающим практическую реализацию результатов фундаментальных и прикладных научных исследований Института в области ядерной, радиационной и экологической безопасности. Прежде всего речь идет о расчетных моделях и программных кодах, которые предназначены как для моделирования физических процессов, связанных с протеканием проектных и запроектных (в том числе тяжелых) аварий в атомных реакторах различных типов, так и для моделирования процессов распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население. Этот программный инструментарий составляет основу программно-технического комплекса ТКЦ ИБРАЭ РАН, обеспечивающего решение задач научно-технической поддержки аварийного реагирования и мероприятий по защите населения и окружающей среды при чрезвычайных ситуациях с радиационным фактором.

ТЕХНИЧЕСКИЙ КРИЗИСНЫЙ ЦЕНТР ИБРАЭ РАН

Во всем мире в настоящее время задачи аварийного реагирования на чрезвычайные ситуации с радиационным фактором решаются путем создания специализированных кризисных центров. В России эта концепция была принята около двадцати лет назад, а первые

действующие структуры были сформированы еще в 1987 г. вскоре после чернобыльской аварии.

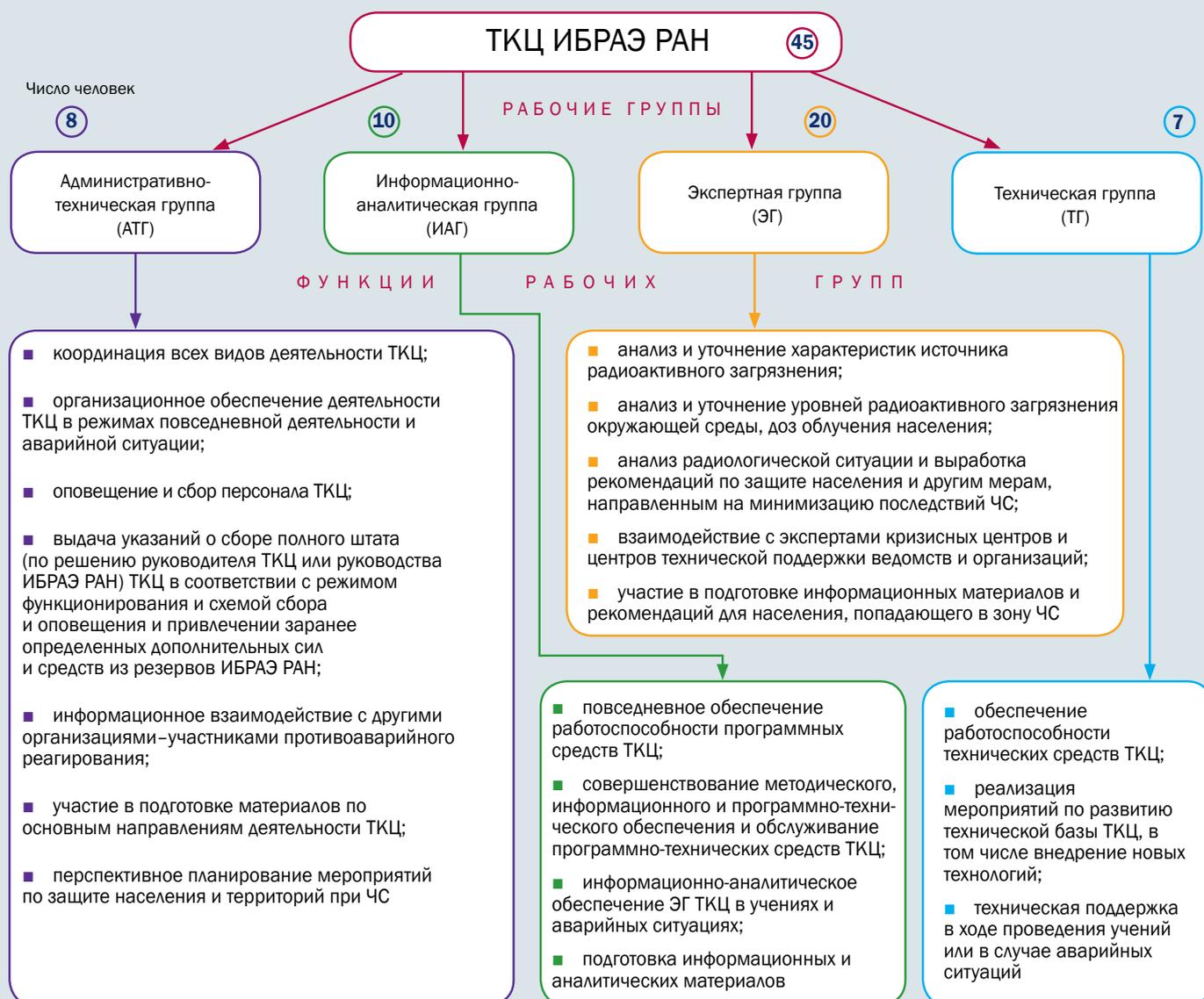
В 1992 г. в составе Отделения радиационной безопасности и радиационного риска ИБРАЭ РАН была созда-



на лаборатория, в задачи которой входило проведение исследований в области научно-технического обеспечения аварийного реагирования. В 1996 г. на ее базе был организован Центр технической поддержки Кризисного центра концерна «Росэнергоатом», преобразованный в 1999 г. в Технический кризисный центр (ТКЦ) ИБРАЭ РАН. На сегодняшний день ТКЦ является одним из ключевых участников системы аварийного реагирования России. В рамках соответствующих со-

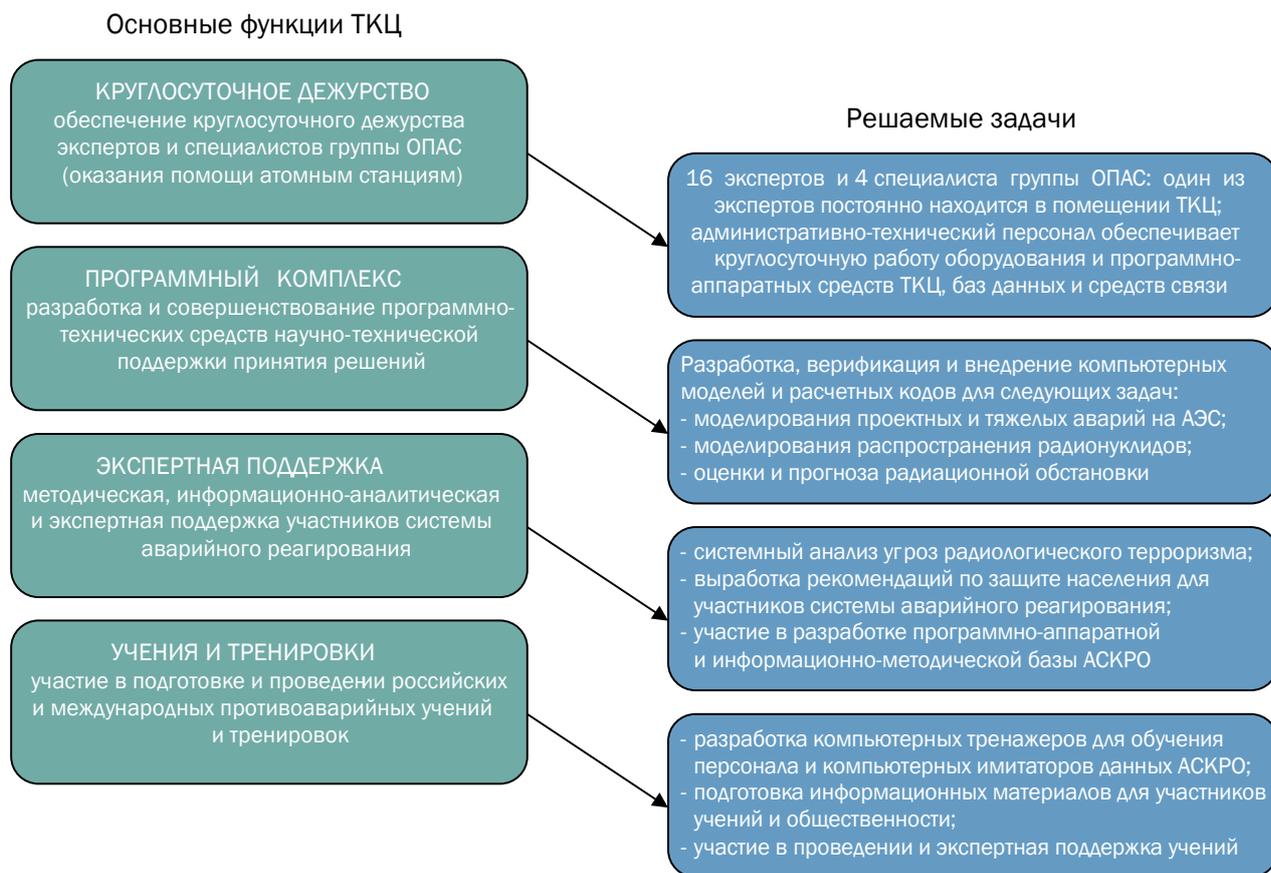
глашений он осуществляет комплексную научно-техническую, экспертную и информационную поддержку федеральных и региональных органов власти, отраслевых и ведомственных кризисных центров (НЦУКС МЧС России, СКЦ Росатома, КЦ концерна «Росэнергоатом», ЦМП Управления гражданской обороны г. Москвы) при решении задач прогнозирования радиационной обстановки, оценки рисков для населения и окружающей среды, минимизации социального и

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТКЦ ИБРАЭ РАН (по состоянию на апрель 2013 г.)



АТГ, ИАГ и ТГ являются постоянно действующими группами организационного, информационно-аналитического и технического обеспечения ТКЦ, ЭГ функционирует при проведении учений, тренировок или в случае возникновения аварийных ситуаций

РЕЖИМ ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



РЕЖИМ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ



экономического ущерба в случае ЧС с радиационным фактором.

Структура ТКЦ ИБРАЭ РАН оптимизирована с учетом мирового опыта организации кризисных центров. В состав ТКЦ входят экспертная, информационно-аналитическая, административная и техническая группы. Эксперты ТКЦ — это высококвалифицированные ученые и специалисты в области ядерной физики, физики реакторов, радиационной безопасности, радиоэкологии, программирования и разработки информационных систем, многие из которых имеют практический опыт проведения работ по ликвидации последствий радиационных аварий.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ АКТОВ РАДИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕРРОРИЗМА И МИНИМИЗАЦИЯ ИХ ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ

В последние годы озабоченность общества вызывает угроза радиологического терроризма (РТ) — преднамеренного диспергирования радиоактивных веществ в окружающей среде (мегаполисах, критически важных объектах инфраструктуры включая крупные транспортные узлы) с целью нанесения прямого или косвенного ущерба здоровью людей, природной среде, социальным и экономическим институтам.

Пути противодействия этой угрозе следует искать в рамках комплексного подхода, который предполагает не только выработку действенных мер профилактики и предотвращения актов радиологического терроризма, но и создание эффективной системы реагирования на такие акты, обеспечения защиты населения и минимизации возможных негативных последствий социально-экономического и общественно-политического характера.

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ТКЦ

Эксперты и специалисты ТКЦ ИБРАЭ РАН обладают большим опытом участия в работах по ликвидации последствий аварий и инцидентов с радиационным фактором. Еще до создания ИБРАЭ многие из них вошли в состав «чернобыльской» экспертной группы под руководством Л. А. Большова. Затем последовали работы по оценке и прогнозированию радиационной обстановки на промплощадке и в зоне наблюдения Армянской АЭС после разрушительного Спитакского землетрясения 1988 г. В октябре 1999 г. по запросу посольства Японии в России в ТКЦ ИБРАЭ РАН был

Первоочередной задачей ТКЦ ИБРАЭ РАН является оценка последствий и выработка рекомендаций по мерам защиты населения и окружающей среды в случае возникновения чрезвычайных ситуаций на ядерно и радиационно опасных объектах.

Реализация этой задачи осуществляется в одном из трех режимов: повседневной деятельности (с организацией круглосуточного дежурства экспертов и специалистов группы ОПАС — оказания помощи атомным станциям), повышенной готовности или чрезвычайной ситуации.

В ИБРАЭ РАН проведен качественный и количественный анализ угроз, потенциальных ущербов, эффективности мер по предупреждению и минимизации последствий РТ. По его результатам сделан вывод, что наиболее значимой и эффективной мерой по обеспечению устойчивости общества к угрозам радиологического терроризма является разработка адекватной реальным радиологическим рискам нормативно-правовой базы в области защиты населения и окружающей среды. Показана настоятельная необходимость создания действенной системы аварийного реагирования в условиях мегаполиса, в том числе разработки эффективных критериев, методов и технических средств оценки радиационной обстановки и поддержки принятия решений по защите населения, особенно на начальной фазе развития ЧС. Развивая данное научное направление, ИБРАЭ РАН проводит работы по созданию новых программных средств оценки и прогнозирования радиационной обстановки в условиях крупных городов, в частности, на основе CFD-кодов.

проведен оперативный анализ возможного развития запроектной аварии на заводе по производству ядерного топлива в г. Токаймура, а по запросу Минатома России — анализ последствий радиационного инцидента на южнокорейской АЭС «Волсунг-3» и выработаны рекомендации по минимизации последствий этих аварий. В дальнейшем специалисты ТКЦ обеспечивали научно-техническую и экспертную поддержку мероприятий по локализации всех более или менее серьезных инцидентов с радиационным фактором как в России, так и за рубежом.

АВАРИЯ НА АЭС «ФУКУСИМА-1»

11 марта 2011 г., сразу после появления первых информационных сообщений о катастрофическом землетрясении и цунами у восточных берегов Японии, а также о вызванных этим проблемах с охлаждением реакторных установок АЭС «Фукусима-1», ТКЦ ИБРАЭ РАН был переведен в режим повышенной готовности в полном штатном составе.

Работа ТКЦ в рамках РСЧС по защите населения дальневосточного региона России осуществлялась во взаимодействии с СКЦ и другими структурами Росатома через оперативный штаб Госкорпорации совместно со специалистами НЦУКС МЧС России и Росгидромета (НПО «Тайфун»).

Возможность негативного развития аварии с плавлением активной зоны реакторных блоков АЭС «Фукусима-1» и выходом радионуклидов за пределы их защитных оболочек рассчитывалась специалистами ТКЦ с помощью разработанного в ИБРАЭ РАН интегрального кода СОКРАТ. По результатам вычислений был составлен прогноз последовательности и времени возникновения ключевых событий (осушение, разогрев и разрушение активной зоны реактора, взрыв водорода), который впоследствии подтвердился с большой точностью.

Прогнозирование развития радиационной обстановки в прилегающих к зоне аварии регионах российского Дальнего Востока осуществлялось с использованием разработанного в ИБРАЭ РАН кода НОСТРАДАМУС. Первый прогноз радиационной обстановки в районе г. Владивостока, в предположении о неблагоприятном сценарии развития событий на АЭС «Фукусима-1» и о продвижении радиоактивного облака в сторону Приморского края, был подготовлен уже вечером 11 марта и направлен экспертами ТКЦ ИБРАЭ РАН в НЦУКС МЧС России 12 марта 2011 г. Последующие расчеты показали — в самом худшем случае возможная доза облучения населения Приморского края не превысит 10 мЗв за год, что не представляет опасности для здоровья людей.

Таким образом, уже в начальный, острый период протекания аварии на АЭС «Фукусима-1» специалистам ТКЦ удалось оперативно объективно оценить риск радиационного загрязнения территории российского Дальнего Востока, довести до федеральных органов власти, СМИ и общественности достоверную, актуальную и научно обоснованную информацию о возможных последствиях аварии для населения России и окружающей среды.

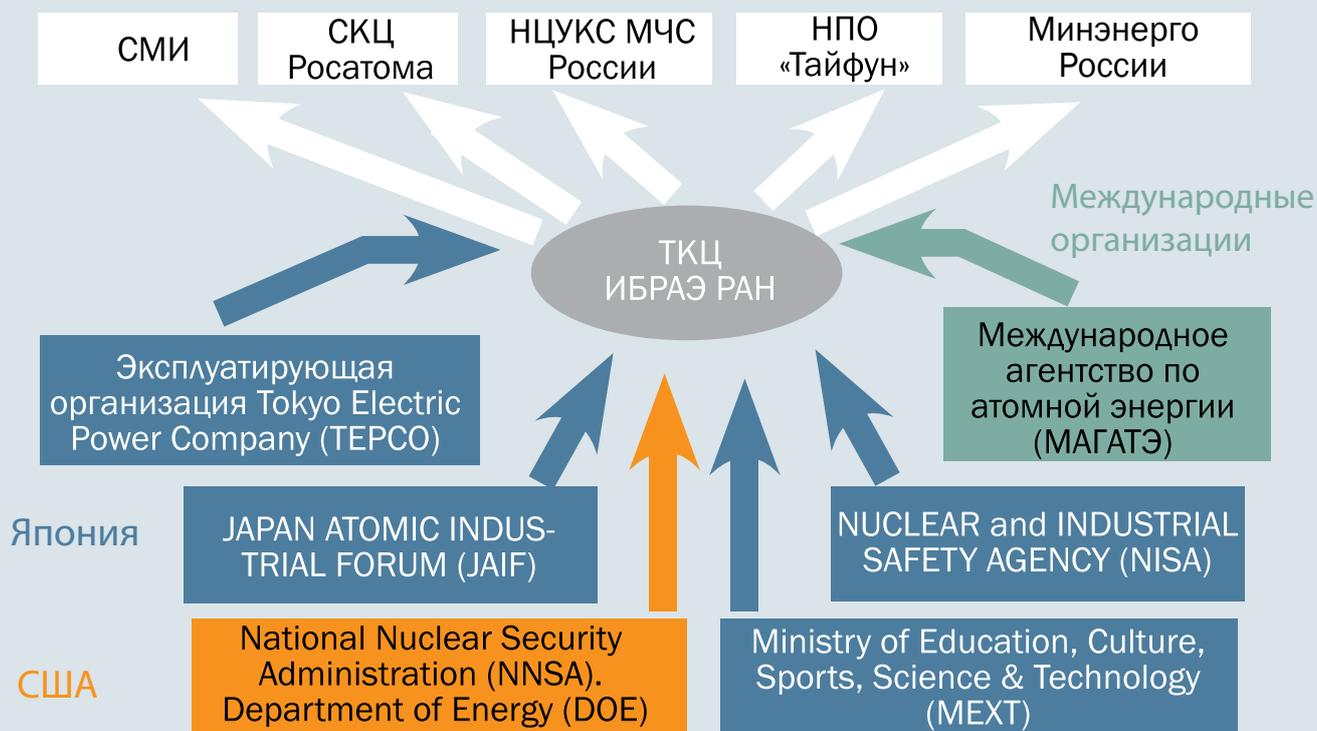


Схема организации круглосуточного сбора и предоставления информации экспертами ТКЦ ИБРАЭ РАН по аварии на АЭС «Фукусима-1»



Генеральный директор Госкорпорации «Росатом» Кириенко С. В. и директор ИБРАЭ РАН Большов Л. А. докладывают Премьер-министру Путину В. В. о ситуации на АЭС «Фукусима-1»

**Фактическое и
рассчитанное ТКЦ
ИБРАЭ РАН время
взрывов водорода
на АЭС «Фукусима-1»
в марте 2011 г.**

	Расчетное время (яп.) взрыва водорода	Фактическое время (яп.) взрыва водорода
Блок 1	12 марта 15:16	12 марта 15:36
Блок 2	15 марта 05:45	15 марта 06:14
Блок 3	14 марта 08:00	14 марта 11:01
Блок 4 (бассейн выдержки)	15 марта 04:00—05:00	15 марта 06:00

ОЦЕНКА МАСШТАБА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА АЭС «ФУКУСИМА-1»

Специалистами ТКЦ ИБРАЭ РАН проведено аналитическое исследование радиологических, экономических и медико-биологических аспектов массовой эвакуации населения после аварии на АЭС «Фукусима Дай-ичи». Показано, что адекватные радиозэкологическим последствиям аварии финансовые затраты на эвакуацию людей из зоны отселения АЭС не превышают 200 млн долл. США. Основаниями для такой оценки являются выполненная в ИБРАЭ РАН реконструкция радиационной обстановки в префектуре Фукусима на 1 июня 2011 г., статистические данные о численности населения, покинувшего свои дома в ходе эвакуации, и предписанные нормами радиационной безопасности соответствия предотвращаемой коллективной

дозы облучения населения величине потенциального экономического ущерба (в финансовом эквиваленте).

Между тем на сегодня затраты, связанные с ликвидацией последствий аварии, оцениваются по разным источникам в сумму от 100 до 200 млрд долл. (т. е., на 3 порядка выше), и во многом обусловлены популистским характером управленческих решений, принятых правительством Японии, и неадекватностью их реальным радиологическим рискам. Например, проведенные в ТКЦ ИБРАЭ РАН оценки дозовых нагрузок для населения показали, что 4/5 всех эвакуированных после аварии лиц могли бы безо всякого ущерба для здоровья продолжать жить в своих домах.



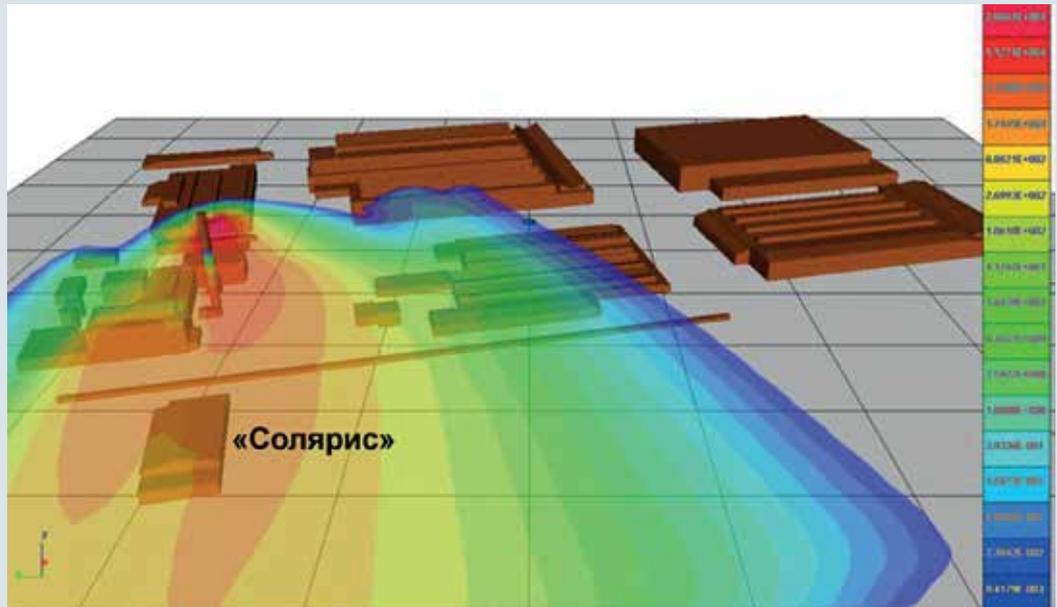
Совещание группы экспертов ТКЦ ИБРАЭ РАН по оценке воздействия радиационной аварии на АЭС «Фукусима-1» на здоровье населения, слева направо: Е. Л. Серебряков, м. н. с.; В. П. Меркушов, с. н. с.; А. В. Зарянов, инженер; Д. В. Арон, м. н. с.; Р. И. Бакин, зав. лабораторией; О. А. Павловский, к. т. н., зам. зав. отделением, С. Н. Краснопёров, н. с.; А. В. Шикин, с. н. с.; А. Л. Фокин, с. н. с.; А. В. Капустин, м. н. с.; Д. Ю. Томащук, инженер; Д. А. Припачкин, к. ф.-м. н., н. с.; С. В. Панченко, с. н. с.; Р. В. Арутюнян, д. ф.-м. н., рук-ль ТКЦ

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ СЛЕД. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ФУКУСИМЫ ^{137}Cs



Сравнение доз облучения за год после аварии (с учетом укрытия населения), рассчитанных по модели НОСТРАДАМУС (05.04.2011/ИБРАЭ РАН), с оценками МЕТИ (05.11.2011/Япония), выполненных на основе фактических данных

Предварительные результаты прогноза распространения радиоактивной примеси при радиационном инциденте в г. Электросталь



РАДИАЦИОННЫЙ ИНЦИДЕНТ В Г. ЭЛЕКТРОСТАЛЬ

В апреле 2013 г. ТКЦ ИБРАЭ РАН принимал активное участие в ликвидации последствий радиационного инцидента в г. Электросталь (Московская область), причиной которого стало попадание источника ионизирующего излучения на основе изотопа ^{137}Cs в состав металлического лома и его переплавка в индукционной печи литейного цеха ООО «Техпромснаб плюс». Сразу же после получения от ГУ МЧС по Московской области информации о радиационном инциденте сотрудниками ТКЦ ИБРАЭ РАН был выполнен экспресс-анализ и предварительный прогноз ожидаемых доз

вых нагрузок на население. Для уточнения радиационной обстановки по согласованию с ГУ МЧС по МО на место событий была направлена мобильная группа экспертов ТКЦ на передвижной радиометрической лаборатории (ПРЛ), оснащенной всей необходимой аппаратурой для дозиметрических измерений. В задачу группы входило проведение детальное картирование радиационной обстановки на территории города Электросталь и на площадке завода ОАО «ЭЗТМ», в том числе комплексное радиационное обследование аварийного цеха.

Маршрут ПРЛ в г. Электросталь и результаты проведенных 14.04.13 измерений МАЭД гамма-излучения

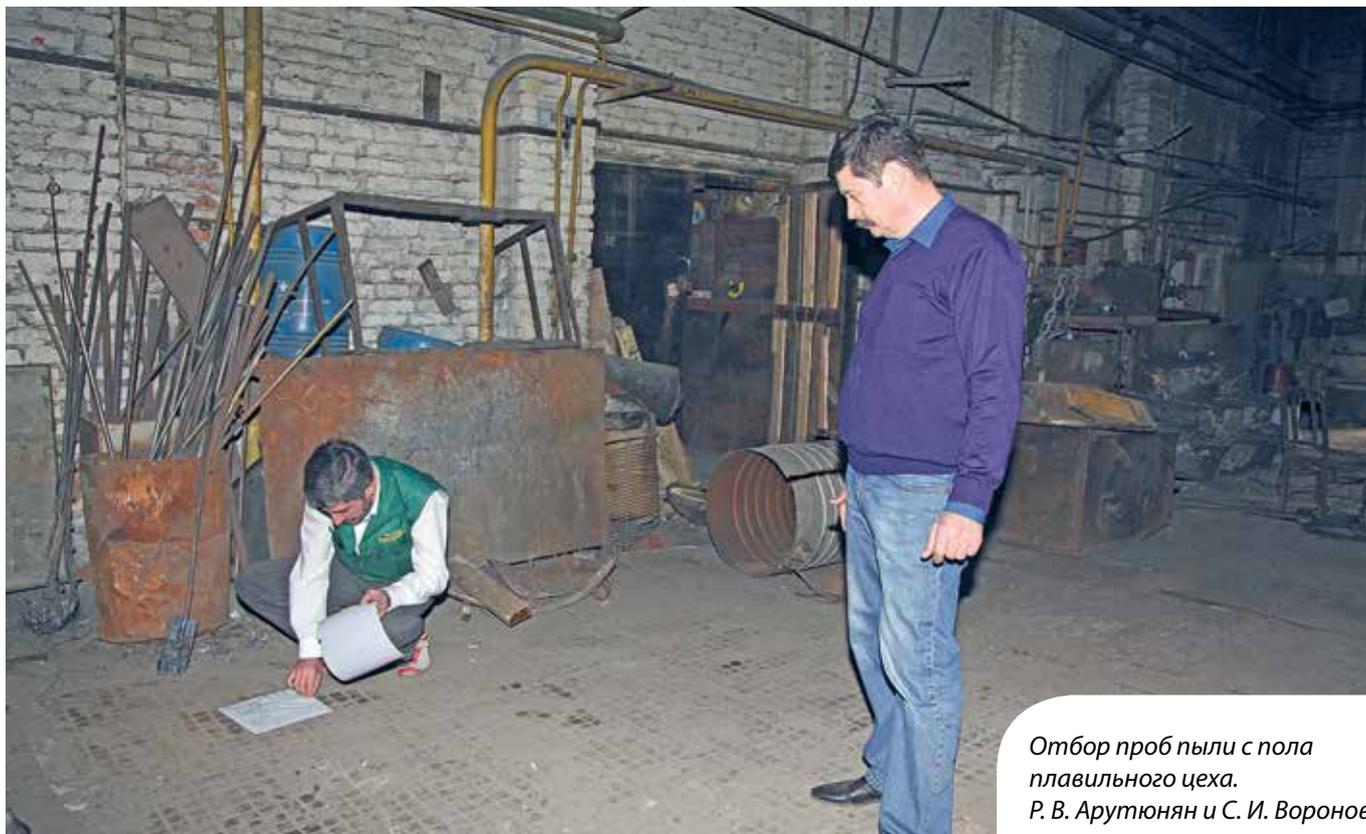


Группа радиационной разведки ТКЦ ИБРАЭ





Эксперты ТКЦ ИБРАЭ РАН проводят радиационное обследование территории ОАО «ЭЗТМ», г. Электросталь



*Отбор проб пыли с пола плавильного цеха.
Р. В. Арутюнян и С. И. Воронов*

Результаты проведенных дозиметрических измерений дали основания утверждать, что ожидаемая в связи с радиационным инцидентом дополнительная доза облучения населения города и персонала завода не превысит 1/10 средней облучаемости от природного фона, поэтому реализации мер по радиационной защите территории не потребуется. Подготовленные в ИБРАЭ РАН экспертные заключения и рекомендации были направлены в администрацию Московской области, мэрию г. Электросталь, территориальные управления МЧС и Роспотребнадзора по Московской области, НЦУКС МЧС РФ.

Прогноз развития радиационной обстановки и выполненная по результатам дозиметрических измере-

ний оценка возможных последствий инцидента для здоровья людей были доведены до сведения населения и СМИ в ходе пресс-конференции, проведенной в мэрии г. Электросталь с участием специалистов ИБРАЭ РАН, Санкт-Петербургского НИИ радиационной гигиены им. П.В.Рамзаева (СПНИИРГ) и Роспотребнадзора.

Итоги выполненных специалистами ТКЦ ИБРАЭ РАН работ продемонстрировали высокую эффективность программно-технических средств, обеспечивающих получение дозиметрических данных в режиме реального времени, оперативную оценку радиационной обстановки, расчет и достоверное прогнозирование доз облучения населения.

УЧЕНИЯ И ТРЕНИРОВКИ

В режиме повседневной деятельности задачи повышения квалификации персонала ТКЦ ИБРАЭ РАН, совершенствования программно-технической базы и поддержания высокого уровня аварийной готовности ТКЦ решаются прежде всего путем проведения учений и тренингов.

ТКЦ ИБРАЭ РАН является активным участником комплексных противоаварийных учений, регулярно проводимых на объектах концерна «Росэнергоатом», а также организуемых Госкорпорацией «Росатом» и МЧС России с привлечением региональных кризис-

ных центров. Эксперты ТКЦ ежегодно участвуют в подготовке и проведении 3—4 тренингов объектового, ведомственного и регионального уровней, разрабатывают технологические и радиационные сценарии аварийных ситуаций на ЯРОО, специализированные имитационные программные средства, проводят подготовку персонала к учениям. Непосредственно в ходе учений ТКЦ обеспечивает оценку источника радиоактивного выброса, прогнозирование радиологических последствий условной аварии и выработку рекомендаций по мерам защиты населения и окружающей среды.



Учения «Нововоронеж-2011» в Нововоронежском филиале Аварийно-технического центра СПб (июнь 2011 г.)

Проведение совместных противоаварийных учений и тренировок является сферой широкого международного сотрудничества. В числе значимых примеров такого сотрудничества следует упомянуть: участие ИБРАЭ РАН в партнерстве с IRSN (Франция) в проведении национальных учений по условным авариям на исследовательских реакторах «Беккерель-1996» и «Сакле-2000», международные учения «Арагац-99» на Армянской АЭС, совместные с Министерством энергетики США учения на Билибинской АЭС (2002 г.), на реакторе БОР-60 в НИИАР (2003 г.), тренировки по ликви-

дации последствий условной аварии при перегрузке ОЯТ атомного ледокола на ФГУП «Атомфлот» (2005 г.) и на ФГУП «МП «Звездочка» (2008 г.).

Специалисты ТКЦ активно участвуют в подготовке и проведении учений с территориальными подсистемами РСЧС. Начиная с 2007 г. комплексные противоаварийные и командно-штабные учения проводятся ежегодно в различных регионах нашей страны. Наиболее масштабными стали учения «Новovorонеж-2011», «Арктика-2011, 2012», «Курск-2012».



Представители Московского офиса Министерства энергетики США и сотрудники ИБРАЭ на видеоконференции, организованной в ТКЦ ИБРАЭ РАН при проведении учений «Арктика-2012»

Созданные в ИБРАЭ РАН системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования соответствуют задачам инновационного развития атомной отрасли и современным стандартам ядерной и радиационной безопасности. Их разработка осуществляется на основе системного подхода, учитывающего приоритетные направления развития отрасли, современные достижения науки и техники, географию размещения ядерно и радиационно опасных объектов на территории России, оптимизацию использования ресурсов и социально-экономические факторы.



Ядерная, радиационная и экологическая безопасность объектов атомного флота и малой энергетики



Саркисов Ашот Аракелович
академик, вице-адмирал,
советник Российской академии наук

Большая часть земной поверхности покрыта водой, поэтому обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности морей, океанов и прибрежных территорий имеет огромное значение для человечества. Особо это относится к такому ранимому региону нашей планеты, как Арктика, которая подвергается мощному техногенному воздействию.



Антипов Сергей Викторович

доктор технических наук, заместитель директора ИБРАЭ РАН по вопросам стратегического планирования и проектного управления в области радиационной безопасности

В середине 1990-х гг. по инициативе академика А. А. Саркисова в ИБРАЭ РАН начались работы по оценке радиологических последствий аварий и инцидентов на объектах атомного флота. В дальнейшем акцент был сделан на проведении комплексных исследований, направленных на обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности объектов атомного флота РФ, выведенных из его состава и подлежащих утилизации (атомных подводных лодок, надводных кораблей с ядерными энергетическими установками, хранилищ ОЯТ и РАО), а также перспективных объектов малой энергетики — плавучих АЭС. В настоящее время исследования в данной сфере относятся к одному из приоритетных направлений деятельности ИБРАЭ РАН и включают в себя:

- *комплексный анализ безопасности объектов атомного флота с использованием информационных технологий и методов математического моделирования переноса радионуклидов в различных средах;*
- *разработку концепций, стратегий и фундаментальных основ обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды в Северо-Западном, Арктическом и Дальневосточном регионах России;*
- *разработку информационных систем управления программами (ИСУП) и их использование в управлении реализацией масштабных проектов и программ по ликвидации ядерных, радиационных и экологических угроз.*

ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Техногенные радионуклиды попадают в морскую среду прежде всего вследствие осуществлявшегося ранее сброса и захоронения жидких (ЖРО) и твердых (ТРО) отходов радиационно опасных производств, а также в результате аварий и катастроф на объектах атомного флота. В связи с этим в ИБРАЭ РАН большое внимание уделяется проблематике задач, связанных с обеспечением радиационной безопасности объектов атомного флота России, а также затопленных судов, радиоактивных отходов и других ЯРОО. Наряду с решением проблем комплексной утилизации ядерного наследия холодной войны и экологической реабилитации загрязненных территорий и акваторий, «морская» тематика включает в себя исследования в области обоснования безопасности плавучих и мобильных атомных теплоэлектростанций малой мощности (ПАТЭС и АСММ). В перспективе эти электростанции, проектирование которых осуществляется с учетом

опыта создания корабельных ЯЭУ, должны составить основу энергетической системы российского Севера, Сибири и Дальнего Востока.

В рамках данного научного направления ИБРАЭ РАН проводит работы по моделированию процессов распространения радионуклидов и токсичных химических веществ в морской среде, оценке экологических рисков, связанных с радиационным загрязнением морских акваторий, по повышению эффективности мероприятий по обращению с ОЯТ и РАО и экологической реабилитации загрязненных территорий. Результаты этих исследований составляют научную основу разработки стратегий обеспечения радиационной и экологической безопасности населения и окружающей среды в масштабах как отдельных регионов (Северо-Западный, Арктический, Дальневосточный), так и России в целом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЯЖЕЛЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ

Одна из первоочередных задач обеспечения экологической безопасности предприятий, деятельность которых может сопровождаться сбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, мест временного хранения и захоронения РАО, объектов атомного флота и других ЯРОО состоит в радиоэкологической оценке последствий попадания радионуклидов в моря и океаны и компьютерном моделировании процессов их распространения в морской среде.

Исследования по моделированию последствий радиационных аварий на объектах атомного флота проводились в ИБРАЭ РАН в рамках международных проектов по линии Россия — НАТО. Рассматривались как аварии на АПЛ (в частности, при выгрузке ОЯТ), так и возможность затопления в результате терактов

ПРОГРАММНЫЕ РЕСУРСЫ

Моделирование процессов распространения радионуклидов в водной среде осуществлялось с использованием разработанных в ИБРАЭ РАН совместно с ИВМ РАН расчетных кодов НЕПТУН и КАССАНДРА, которые интегрированы на уровне обмена входными данными с расчетным кодом НОСТРАДАМУС, предназначенным для моделирования атмосферного переноса радиоак-

ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

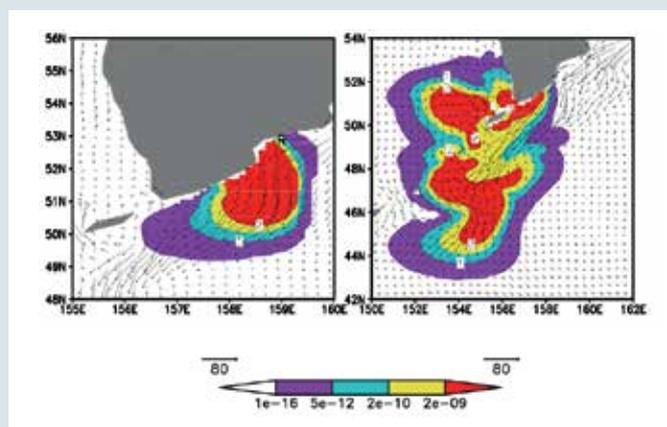
Результаты моделирования показывают, что в случае аварийного затопления судна с радиоактивными отходами и ОЯТ суммарной активностью 10 Пбк (что примерно соответствует количеству ОЯТ на затонувшей АПЛ «К-159») и при полном выходе активности в

судов с ОЯТ и радиоактивными отходами. Разработанные сценарии событий и модели распространения радиоактивных веществ в воздушной и водной среде использовались в дальнейшем при оценке угроз, радиационных и экологических рисков для населения прилегающих к району аварии регионов.

Совместно с ИВМ РАН было проведено моделирование глобального переноса радионуклидов на акватории северо-западной части Тихого океана в случае террористических актов при транспортировке ОЯТ и РАО специальным судном с Камчатки в Приморский край. Аналогичные расчеты проведены также для оценки последствий гипотетической аварии в акватории Белого моря судна технологического обеспечения с ОЯТ и РАО на борту.

тивных веществ. Эти расчетные коды входят в состав программно-технического комплекса, который в настоящее время широко используется в ТКЦ ИБРАЭ РАН при решении практических задач по оценке и прогнозированию радиационной обстановки в районах сброса в море РАО, затопления АПЛ, а также в случае чрезвычайных ситуаций на ЯРОО.

окружающую среду велика вероятность широкомасштабного загрязнения морской среды с распространением радиоактивных веществ на расстояния в сотни и даже тысячи километров от места затопления и на глубины до 500 м.



Прогноз распространения радионуклидов на поверхности океана и на глубине 500 м от точечного источника 10 Пбк спустя 5 и 45 суток после его затопления выходе из Авачинской бухты на Камчатке:

1 — граница области 1 Бк/м³ (объемная активность, соответствующая концентрации ⁹⁰Sr, на 30% превышающей фоновую); 2 — граница области 370 Бк/м³ (соответствует установленной МАГАТЭ предельно допустимой концентрации источника радиоактивного загрязнения морской воды с неизвестным радионуклидным составом)

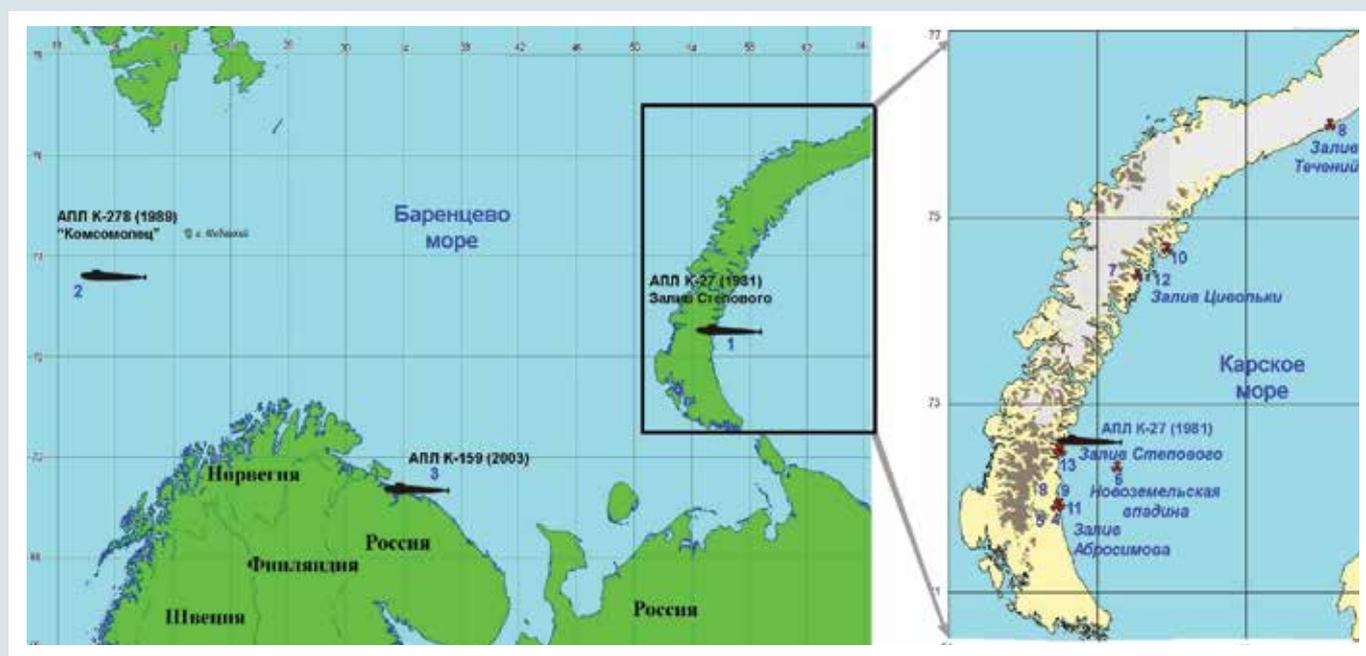
ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В МЕСТАХ ЗАТОПЛЕНИЯ ЯРОО В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ И АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНАХ РОССИИ

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты многолетнего мониторинга и натурных измерений содержания техногенных радионуклидов в окружающей среде Арктики показывают, что в настоящее время существует три реальных источника радиоактивного загрязнения морей Арктического региона: глобальные выпадения продуктов атмосферных ядерных испытаний, сбросы жидких радиоактивных отходов (ЖРО) западноевропейских радиохимических заводов по переработке ОЯТ и проведенные в 1957—1992 гг. СССР и Россией на акваториях Карского и Баренцева морей захоронения

твердых радиоактивных отходов (ТРО), реакторных отсеков АПЛ с ОЯТ и без, оказавшиеся на морском дне в результате аварий и катастроф.

До настоящего времени в арктических морях в совокупности было затоплено около 18 тыс. ЯРОО, которые в основном составляют наследие холодной войны и содержат радиоактивные отходы, образовавшиеся при эксплуатации кораблей Северного флота и судов атомного ледокольного флота.



Крупногабаритные ЯРОО, находящиеся на дне морей северо-западной части Арктики: 1 — АПЛ «К-27» затоплена на глубине 33 м (1982 г.); 2 — АПЛ «Комсомолец» затонула на глубине 1680 м (1989 г.); 3 — АПЛ «К-159» затонула на глубине 250 м (2003 г.); 4 — реакторный отсек АПЛ «К-19» (1965 г.); 5 — реакторный отсек АПЛ «К-11» (1966 г.); 6 — реактор АПЛ «К-140» (1972 г.); 7 — экранная сборка атомного ледокола (1967 г.); 8 — два реактора АПЛ «К-3» (1988 г.); 9 — реакторный отсек АПЛ «К-5» (1967 г.); 10 — реакторный отсек атомного ледокола (1967 г.)

Семь из этих объектов содержат делящиеся вещества в составе ОЯТ на основе обогащенного урана и относятся к классу ядерно опасных. Это АПЛ «К-27», затопленная в 1982 г. в заливе Степового восточного побережья Новой Земли, «К-278» («Комсомолец»), погибшая в 1989 г. в Норвежском море, и «К-159», аварийно

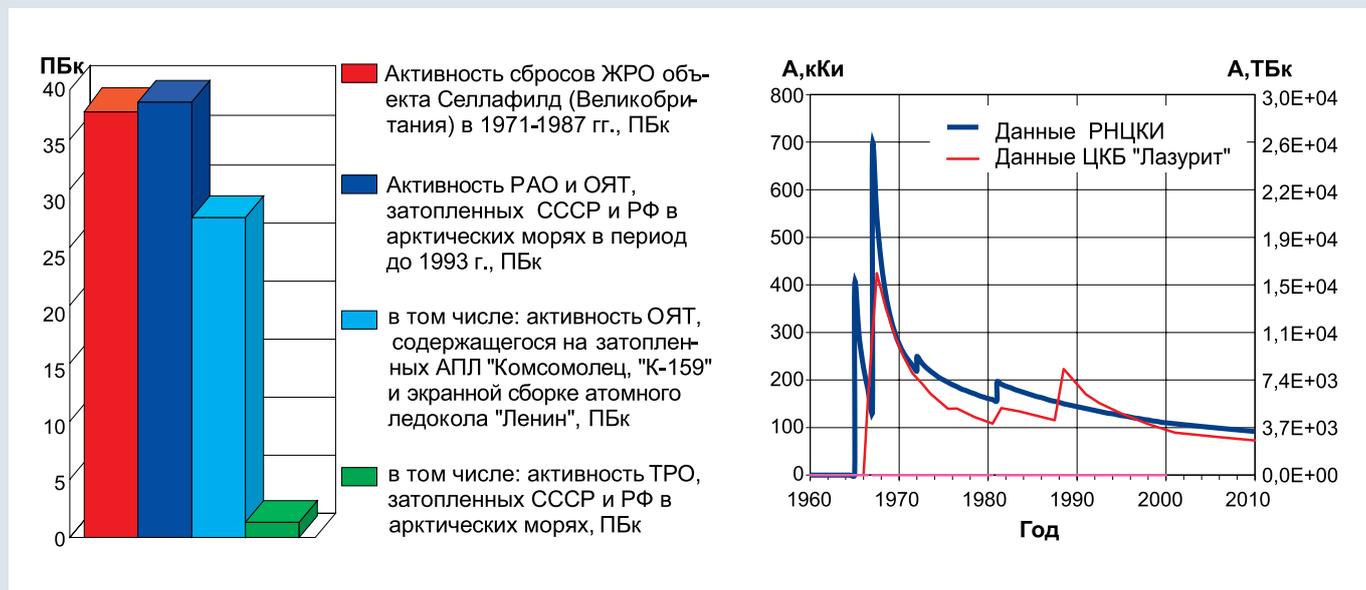
затонувшая в 2003 г. в Баренцевом море. Кроме того, в 60-х годах прошлого века в бухтах восточного побережья Новой Земли были затоплены пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ЯЭУ и специальный контейнер с экранной сборкой и частью ОЯТ одного из реакторов атомного ледокола «Ленин».

ЗАТОПЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В МОРЯХ: ИСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ

Сброс радиоактивных отходов (РАО) в моря и океаны регулируется на основе положений Лондонской конвенции 1972 г. (ратифицирована СССР в 1976 г.), к которой на конец 2000 г. присоединилось 78 государств. Суммарная активность российских РАО, затопленных в Карском и Баренцевом морях (с учетом активности ОЯТ, находящегося на аварийно затонувших АПЛ), практически равна активности ЖРО, сброшенных в Ирландское море с одного лишь английского объекта Селлафилд (АЭС и заводы по выработке оружейного плутония и переработке ОЯТ) в период его наиболее интенсивной деятельности (1971—1987 гг.). Россия в 1993 г. установила односторонний мораторий на захоронение РАО в Карском море, в то время как сбросы с западноевропейских заводов, хотя и с меньшей интенсивностью, продолжают и сегодня.

18000 — количество контейнеров с ТРО, затопленных СССР и Россией в арктических морях в период до 1993 г.

7 — количество затопленных АПЛ и других объектов, содержащих ОЯТ



Радиоактивные материалы техногенного происхождения, находящиеся на дне арктических морей, и динамика изменения их активности (по данным РНЦ «Курчатовский институт» и ЦКБ «Лазурит»)

Затопление твердых радиоактивных отходов в СССР проводилось как со специальных судов (плавбаз «Лепсе», «Володарский» и др.), так и вместе со списанными судами (было затоплено 19 списанных су-

дов с ТРО). Следует подчеркнуть, что суммарная активность затопленных ТРО на 2—3 порядка ниже, чем активность объектов, затопленных с ОЯТ.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНАХ ЗАТОПЛЕНИЯ ТРО И ОЯТ

Результаты российских и международных морских экспедиций, проведенных в районах гибели АПЛ и затопления ТРО и ОЯТ, показали, что реальная радиоэкологическая обстановка там близка к фоновой. По состоянию на 2012 г. определяющий вклад в загрязнение донных отложений в районах затопления ТРО продолжает вносить ^{137}Cs , содержание которого в грунтах на удалении более 10 м от контейнеров с ТРО сопоставимо с фоновым уровнем.

Та же картина наблюдается и в районах аварийного затопления АПЛ. Проведенные в 2007 г. исследования АПЛ «Комсомолец» с использованием глубоководных высокочувствительных сцинтилляционных гамма-детекторов (разработаны РНЦ «Курчатовский институт» и «ЦНИИ им. А. Н. Крылова») показали, что значения объемной активности ^{137}Cs и ^{60}Co на поверхности корпуса АПЛ не превышают указанных в НРБ-99/2009 допустимых величин и соответствуют содержанию природных радионуклидов в морской воде.

РЕКОМЕНДАЦИИ МАГАТЭ ПО ОБРАЩЕНИЮ С ЗАТОПЛЕННЫМИ ТРО И ОЯТ

На основании результатов независимых радиоэкологических исследований и оценок воздействия затопленных в Арктике ТРО и АПЛ на окружающую среду, эксперты МАГАТЭ в 2008 г. пришли к выводу, что это воздействие незначительно и не способно негативно повлиять на здоровье населения прибрежных районов и состояние гидробионтов. Было рекомендовано оставить ТРО на дне моря, периодически проводя мониторинг радиоэкологической обстановки.

В отличие от опасности ТРО, активность которых постепенно падает, опасность разрушения защитных барьеров содержащих ОЯТ реакторных отсеков затопленных АПЛ со временем лишь возрастает. Почти 75% суммарной активности техногенных радионуклидов в

Принятые в международной практике ограничения на сброс радиоактивных материалов в морскую среду

Согласно рекомендациям МАГАТЭ, зафиксированным в документе IAEA-61, к категории недопустимых для сброса в море следует относить любые отходы или другие материалы с удельной активностью (на единицу массы брутто в тоннах), превышающей:

37 ГБк/т (1 Ки/т) для α -излучателей, а для ^{226}Ra и сопутствующего ему ^{210}Po не более 3,7 ГБк/т;

370 ГБк/т (10 Ки/т) для β - γ -излучателей с периодами полураспада более 0,5 года (исключая тритий) и с неизвестными периодами полураспада;

3,7 ТБк/т (100 Ки/т) для трития и β - γ -излучателей с периодами полураспада менее 0,5 года

составе ОЯТ, находящегося на дне арктических морей, обусловлено тремя объектами — АПЛ «Комсомолец», «К-159» и экранной сборкой с частью ОЯТ (125 отработавших ТВС) реактора № 2 ЯЭУ атомного ледокола «Ленин», затопленной в 1967 г. Последняя содержит лишь 11% суммарной активности с ОЯТ, затопленного в Арктике, но по итогам исследований, проведенных в рамках международных проектов IASAP и «Карское море», после прогнозируемого разрушения (через несколько десятков лет) защитных барьеров именно она может стать самым опасным источником техногенных радионуклидов. Таким образом, задача устранения с морского дна затонувших и затопленных ядерно опасных объектов является актуальной уже сегодня и будет сохранять свою актуальность в дальнейшем.

СТРАТЕГИЧЕСКИЙ МАСТЕР-ПЛАН КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОГО ФЛОТА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

КОНЦЕПЦИЯ ОТСРОЧЕННЫХ РЕШЕНИЙ

Основным методом обращения с радиоактивными отходами (РАО) в России и других странах является организация долговременного хранения в специальных приповерхностных хранилищах вплоть до решения вопроса об их окончательной утилизации или захоронении. В связи с этим наиболее сложные проблемы обеспечения ядерной и радиационной безопасности

атомных реакторов возникают не столько в период их нормальной эксплуатации, но и в процессе вывода из эксплуатации реакторов и соответствующих объектов — АЭС, кораблей и судов с ЯЭУ, береговых технических баз, хранилищ ОЯТ и РАО, обеспечивающей инфраструктуры.

Концепция утилизации АПЛ или надводных кораблей с ЯЭУ, предусматривает так называемую отсроченную утилизацию. В ее ходе из АПЛ или надводного корабля извлекаются ОЯТ, формируется реакторный отсек, куда загружаются все образованные в ходе разделки соответствующего объекта высокоактивные ТРО, а сам реакторный отсек устанавливается на специально создаваемой наземной площадке для контролируемого хранения на 70—100 лет.

Данная концепция предполагает также проведение экологической реабилитации объектов береговой инфраструктуры атомного флота. Это комплекс организационных, технических и социальных мероприятий, направленных на восстановление нормальных условий хозяйственной деятельности объекта. Наиболее предпочтительным вариантом является достижение состояния «коричневой лужайки» с последующим использованием территории для размещения объектов промышленного назначения.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Массовый вывод из эксплуатации ЯРОО атомного флота на Северо-Западе России начался в конце 1980-х годов. Вследствие недостаточных темпов работ по комплексной утилизации АПЛ экологические угрозы в регионе возрастали по мере ухудшения технического состояния хранилищ ОЯТ, зданий и сооружений на площадках хранения РАО, кораблей с ЯЭУ и судов атомного технологического обслуживания. К началу XXI века стало очевидно, что решить в приемлемые сроки проблему ликвидации угроз, исходящих от подлежащих утилизации объектов атомного

флота, не удастся без международной финансовой и научно-технической поддержки.

В 2003 г. Минатом России (с 2004 г. его функции перешли к Федеральному агентству по атомной энергии, в марте 2008 г. преобразованному в Госкорпорацию «Росатом») принял решение о разработке Стратегического Мастер-плана комплексной утилизации объектов атомного флота и экологически безопасной реабилитации ядерно и радиационно опасных объектов на Северо-Западе России.

Конец 1980-х гг.

Вступление в силу международных соглашений о сокращении наступательных вооружений (СНВ-1 и СНВ-2), экономический кризис в СССР; начало массового вывода из эксплуатации ЯРОО атомного флота на Северо-Западе страны

Декабрь 2001 г.

По предложению России и ряда скандинавских стран учрежден Фонд «Экологическое партнерство «Северное измерение» (ЭПСИ). Одна из его задач состоит в решении проблем минимизации рисков радиоактивного загрязнения на Северо-Западе России. Финансирование фонда осуществляется через Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР).

2002 г.

Саммит «большой восьмерки» в Кананаскисе (Канада). Учреждение Глобального партнерства.

Выделяется 20 млрд долл. США (на период до 2012 г.) на решение проблем нераспространения оружия массового поражения, материалов и технологий его производства, в том числе на комплексную утилизацию выведенных из состава флота российских АПЛ.

2003 г.

Подписано соглашение о Многосторонней ядерно-экологической программе в России (МНЭПР). В ее рамках 11 государств и 2 международные организации конкретизировали механизмы сотрудничества и взаимные обязательства участников Глобального партнерства и наметили основные стратегические подходы к реализации соответствующих мероприятий.

2003 г.

По заказу Минатома России и при финансовой поддержке фонда ЭПСИ начата разработка Стратегического Мастер-плана комплексной утилизации объектов атомного флота и экологически безопасной реабилитации ядерно и радиационно опасных объектов на Северо-Западе России.

ГРУППА РАЗРАБОТКИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МАСТЕР-ПЛАНА

Стратегический Мастер-план (СМП) — это крупномасштабное комплексное исследование, в котором были определены основные направления работ по утилизации АПЛ и экологической реабилитации береговых технических баз, обоснованы приоритеты выполнения мероприятий и проектов по улучшению экологической обстановки в Северо-Западном регионе России.

В работе над СМП, которая была завершена в октябре 2007 г. (разработка ИСУП завершена в 2010 г.), принимали участие ведущие сотрудники основных профильных организаций нашей страны: ИБРАЭ РАН, РНЦ «Курчатовский институт», Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники им. Н.А.Доллежаля (НИКИЭТ), НИПТБ «Онега», «ОКБМ Африкантов», ГУП «Элерон», КНЦ РАН, МИФИ, ФГУП ЦНИИТЭС, ВНИПИЭТ, ОАО «СевРАО», ОАО «СРЗ Нерпа», Зарубежатоэнергостроя, объединенные под руководством директора ИБРАЭ РАН чл.-кор. РАН Л.А.Большова в Группу разработки программы. Научное руководство разработкой СМП осуществлял советник РАН академик А.А.Саркисов. Важной особенностью разработки СМП являлось активное участие в ней «Меж-

230 — количество проектов, выполняющихся в рамках Программы комплексной утилизации (ПКУ)

2 млрд евро — ориентировочная сумма финансирования ПКУ на период до 2025 г.

дународного консультанта» (МК). В состав группы МК вошли представители компаний Fluor Corp., British Nuclear Group и Xron, внесшие весомый вклад в деятельность Группы разработки программы.

В ходе разработки СМП были широко использованы современные информационные технологии. Планирование, основанное на этих технологиях для решения проблем глобального масштаба, в нашей стране было применено впервые.

СТРУКТУРА И ЗАДАЧИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МАСТЕР-ПЛАНА

Структуру СМП в общем виде можно представить как совокупность трех элементов: Программы комплексной утилизации (ПКУ), исходных положений и процедур разработки и реализации ПКУ. Центральным, основополагающим элементом СМП является ПКУ, включающая в себя Программу приоритетных проектов (ППП), а исходные положения и процедуры служат внешними элементами обеспечения.

Ожидаемый конечный результат реализации ПКУ, определенный в ходе разработки СМП, состоит в ликвидации радиологических угроз от выведенных из состава ВМФ ядерно и радиационно опасных объектов и объектов обеспечивающей береговой инфраструктуры на Северо-Западе России. В частности, должна быть проведена экологическая реабилитация пунктов временного хранения ОЯТ и РАО до уровня, не приносящего вреда здоровью человека и окружающей среде при будущем землепользовании (т. е. до уровня «коричневой лужайки»).

Техническое задание на разработку первого этапа Стратегического Мастер-плана было оформлено 26 января 2004 г. (NDEP:NW-03/05). Было решено, что СМП будет разрабатываться в два этапа, причем пер-

вый этап являлся не только подготовительным для второго, но и должен был стать основой принятия Россией стратегических решений в области обращения с ОЯТ и РАО, образующихся при выполнении соответствующих проектов. Общая стоимость программы за период с 2007 по 2025 г. составит около 2 млрд евро.



Структура Стратегического Мастер-плана



Руководство и ведущие эксперты Группы разработки СМП (сидят, слева направо: Н. Е. Кухаркин, Р. И. Калинин, А. А. Саркисов, Л. А. Большов, В. А. Шишкин, Джон Вильямс (Xron Associates, Inc.); стоят, слева направо: С. В. Антипов, П. А. Шведов, М. Н. Кобринский, Б. С. Степеннов, В. Г. Маркаров, А. О. Пименов, А. П. Васильев, В. П. Билашенко, В. А. Мазокин, С. И. Коробейников, В. Л. Высоцкий, Т. Приймак (BNG Project Servises), Г. Э. Ильющенко), 2007 г.

КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ СМП

Уникальность Стратегического Мастер-плана по отношению к другим стратегиям утилизации объектов ядерного наследия обусловлена следующими особенностями СМП:

Многоплановость — СМП интегрирует в себе более 230 проектов, реализация которых предусматривает как проведение мероприятий в соответствии с планами и программами Росатома и других ведомств, вовлеченных в работы по утилизации объектов атомного флота в рамках двусторонних и многосторонних международных соглашений, так и проведение ряда эксклюзивных мероприятий, разрабатываемых исключительно в рамках СМП.

Долгосрочное планирование — временной интервал планирования в СМП не ограничивается краткосрочными рамками (3—5 лет), а определяется периодом, необходимым для достижения конечных стратегических целей утилизации и реабилитации всех объектов (до 2025 г. и далее).

Масштабность — СМП охватывает практически все выведенные из эксплуатации на Северо-Западе России объекты атомного флота, как военного, так и гражданского, а также объекты береговой инфраструктуры.

Системный подход — примененный в ходе разработки СМП системный подход учитывает все многообразие и сложные взаимосвязи факторов и обстоятельств, что позволяет объективно выявить приоритетные направления и задачи, оптимизировать планирование всех работ по утилизации вплоть до достижения стратегических целей.

Широкая научная база — разработка СМП наряду с анализом, обобщением и использованием результатов выполненных ранее исследований опиралась на комплекс стратегических научных исследований, проведенных целевым образом в рамках подготовки СМП.

Современная концепция управления ресурсами — реализация СМП осуществляется на основе проектно-ориентированного подхода к управлению с применением специально разработанной Информационной системы управления программами (ИСУП).

Международный статус — СМП разработан прежде всего с целью реализации задач, входящих в компетенцию Госкорпорации «Росатом», но одновременно имеет международный статус, поддержан Ядерным исполнительным комитетом NDEP и одобрен Ассамблеей стран-доноров; впервые к разработке крупной комплексной программы национального масштаба был привлечен «Международный консультант».

Адаптируемость — Программа комплексной утилизации, лежащая в основе СМП, представляет собой план базовой линии для достижения его конечных

целей. По мере продвижения по этому пути ПКУ будет служить ориентиром для текущего операционного планирования и принятия новых принципиальных решений с учетом новой технической информации, изменений в нормативной правовой базе и доступных финансовых ресурсов.

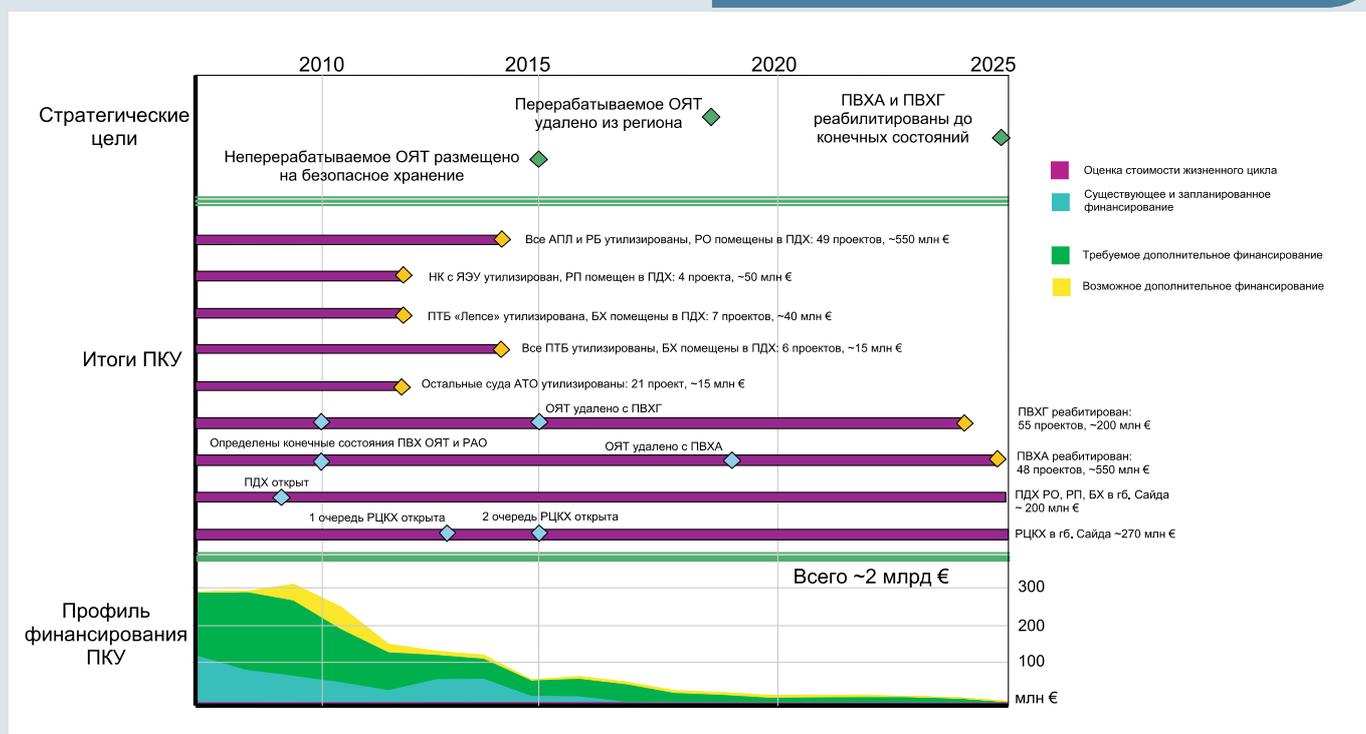
Концепция «дорожной карты» — разработка СМП имеет большое значение с точки зрения систематизации задач и определения стратегических путей достижения конечных целей. Его структура обеспечивает разумную организацию и планирование работ, синхронизацию усилий многочисленных партнеров. В то же время СМП — это не операционная программа, а концептуальная «дорожная карта» маршрута движения к стратегической цели и основа для детальной разработки конкретных проектов в рамках ПКУ по мере определения финансирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ, ДОСТИГНУТЫЕ В ХОДЕ РАЗРАБОТКИ СМП

Были систематизированы исходные данные по более чем 150 радиационно опасным объектам атомного флота и обеспечивающей береговой инфраструктуры на территории Северо-Западного региона РФ, обоснованы стратегические конечные цели обращения с объектами рассматриваемого ПКУ, разработаны «дорожные карты» для достижения этих целей. При формиро-

вании базовой линии ПКУ использован и адаптирован к условиям России опыт разработки стратегических программ вывода из эксплуатации ЯРОО Великобритании, в частности, методология оценки и снижения рисков при реализации ПКУ и процедура приоритизации проектов.

ОБОБЩЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ПКУ



СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАМКАХ СМП

С целью осуществления научной поддержки СМП в ходе его разработки были проведены 8 стратегических исследований, направленных на решение следующих задач:

- разработки и обоснования критериев экологической реабилитации пунктов временного хранения (ПВХ) ОЯТ и РАО на Северо-Западе России;
- разработки концепции, определяющей основные функциональные требования к выбору места расположения региональных объектов обращения, временного хранения и окончательного захоронения РАО в Северо-Западном регионе России;
- рассмотрения и выбора оптимальных технологий обращения с ОЯТ, в том числе с дефектным ОЯТ, неперерабатываемым ОЯТ и ОЯТ реакторов с ЖМТ;
- разработки концепции по обращению, уничтожению и окончательному захоронению токсичных отходов, образующихся при утилизации АПЛ и экологической реабилитации ПВХ ОЯТ и РАО;
- разработки предложений по совершенствованию нормативно-правовой базы в сфере комплексной утилизации АПЛ и экологической реабилитации ПВХ ОЯТ и РАО.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММОЙ

Программа комплексной утилизации, лежащая в основе СМП, рассчитана на длительный срок реализации. В течение этого срока возможны существенные изменения условий финансирования тех или иных проектов ПКУ, используемых технологий, радиозащитной и социально-экономической обстановки в регионе и т. д. Учет этих изменений требует периодической корректировки программы и принятия оптимальных управленческих решений.

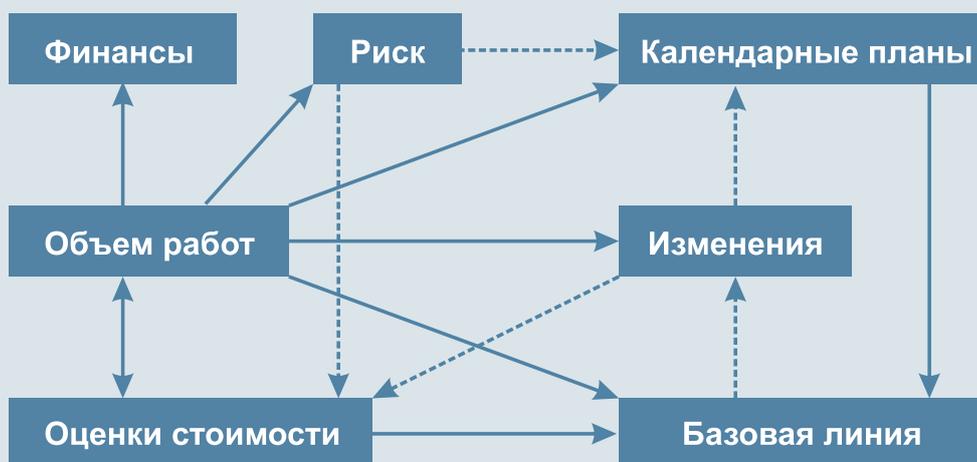
Разработанная в ИБРАЭ РАН информационная система управления программой (ИСУП) предназначена для планирования, мониторинга и поддержки формирования управленческих решений, относящихся к СМП, и представляет собой интегральный программно-аппаратный комплекс с модульной структурой, что позволяет добавлять и заменять инструменты управления программой в соответствии с изменяющимися по ходу выполнения ПКУ требованиями.

Основной функцией ИСУП СМП является координация всех проводимых работ по проектам; предоставление менеджерам проектов подробной и обобщенной информации о ходе их выполнения; помощь Госкорпорации «Росатом» и странам-донорам в подготовке программы мероприятий на ближайшие 2—4 года с учетом финансирования, выделенного из всех источников, внедрение разработанных Международным некоммерческим институтом управления проектами (PMI) мировых стандартов управления, адапти-



Кириенко Сергей Владиленович
генеральный директор Госкорпорации «Росатом»

Разработанный Стратегический Мастер-план является эффективным инструментом поддержки принятия решений, обеспечивающих ускоренную ликвидацию угроз, связанных с наследием холодной войны на Северо-Западе России, и оптимизации затрат в ходе реализации этих решений. Вовлеченность ученых и специалистов из разных стран в эту деятельность на территории России, в том числе в разработку СМП, демонстрирует общую заинтересованность международного сообщества в решении экологических вопросов и проблемы нераспространения ядерных технологий, не имеющих национальных границ.



Структура модулей ИСУП и схема обмена информацией

рованных с учетом норм и правовой базы реализации проектов в России.

Информационная система управления программой успешно прошла экспертизу в Росатоме и 26 января 2010 г. введена в промышленную эксплуатацию со-

ответствующим приказом генерального директора Госкорпорации С.В.Кириенко. Ввод ИСУП в эксплуатацию позволил в значительной степени оптимизировать работы, выполняемые в рамках дальнейшей реализации СМП, по срокам и финансированию.

В ноябре 2007 года СМП был утвержден Целевым комитетом по ядерным проектам Экологического партнерства «Северное измерение» (ЭПСИ), одобрен Ассамблеей доноров ЭПСИ, а в декабре приказом руководителя Федерального агентства по атомной энергии РФ был введен в действие в качестве руководящего документа при формировании федеральных целевых программ комплексной утилизации.



Жан Лемьер
президент Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР)

Стратегический Мастер-план — превосходное совместное достижение, которое впервые дает ясный и исчерпывающий обзор всего необходимого для ядерной и радиационной реабилитации на Северо-Западе России. Эта ясность будет иметь огромное значение для российских организаций, отвечающих за обращение с наследием советского атомного флота, а также для международного сообщества, готового оказать помощь в решении этой сложной проблемы, и в не меньшей степени — для населения региона. С этой точки зрения публикация версии СМП для широкой общественности стимулирует начало открытого диалога и дополняет впервые проведенные на международной основе Консультационные общественные слушания по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), которые также финансировались Экологическим партнерством «Северное измерение» и были поддержаны Росатомом.

ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ СМП

Основные итоги первых пяти лет реализации ПКУ состоят в следующем:

- в рамках Глобального партнерства при финансовой поддержке Германии в Мурманской области в Сайда-губе построен и введен в эксплуатацию пункт длительного хранения реакторных отсеков АПЛ. Он может принять 120 реакторных блоков АПЛ и блоков 55 судов АТО включая ледоколы Росатомфлота. В настоящее время 54 сформированных реакторных отсека установлены на безопасное долговременное хранение на твердом основании, еще 7 планируется поставить на хранение к концу 2013 г.;
- продолжается строительство Регионального центра кондиционирования и хранения ТРО в Сайда-губе. Пуск комплекса в эксплуатацию намечен на конец 2014 г.;
- реализован концептуальный проект по обращению с ОЯТ в поселке Гремиха. Вывезено и отправлено на ПО «Маяк» все ОЯТ (в том числе некондиционное) водо-водяных ЯЭУ;
- при поддержке фонда ЭПСИ в губе Андреева строится комплекс по обращению с ОЯТ;
- введена в эксплуатацию система физической защиты ядерных материалов в Гремихе и губе Андреева;
- построен в Италии и передан России контейнеровоз «Россита» для транспортировки ОЯТ и РАО;
- при поддержке фонда ЭПСИ начата практическая работа по подготовке к утилизации ПТБ «Лепсе»;

120 — количество АПЛ, выведенных из состава флота в Северо-Западном регионе России на 1 января 2007 г.

61 — количество сформированных реакторных отсеков, установленных на конец 2013 г. на безопасное долговременное хранение в ПДХ Сайда-губа

1 — количество АПЛ в Северо-Западном регионе, подлежащих утилизации

- проведены подготовительные мероприятия и начаты практические работы по утилизации активных зон выведенных из эксплуатации реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Извлечено и направлено на переработку в ПО «Маяк» ОЯТ из активной зоны первого из девяти этих реакторов.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Промежуточные итоги реализации СМП и программы комплексной утилизации позволяют с оптимизмом оценивать перспективы международного сотрудничества в сфере радиоэкологии на период после 2012 г., срока провозглашенного Глобального партнерства стран «большой восьмерки». В ходе выполнения большого количества проектов, относящихся непосредственно к реализации СМП, были наработаны уникальные методики, применение которых при решении других задач глобального масштаба, например, реабилитации Арктического региона, послужит укреплению экологической безопасности мира.

В 2010 г. правительством РФ принята федеральная целевая программа «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011—2015 годы и на период до 2020 года» с подпрограммой утилизации АПЛ, надводных кораблей с ядерной энергетической установкой, судов атомного технологического обслуживания и реабилитации радиационно опасных объектов. Стратегический Мастер-план служит руководящим документом и «дорожной картой» при разработке и обосновании проектов, реализуемых в рамках данной ФЦП.



Саркисов Ашот Аракелович
академик, вице-адмирал,
советник Российской академии наук

Главным итогом выполнения в рамках реализации СМП Программы комплексной утилизации и экологической реабилитации АПЛ и радиационно опасных объектов атомного флота является то, что практически все подводные лодки уже утилизированы (остались одна АПЛ на Северо-Западе и три на Дальнем Востоке России). Успешное решение этой проблемы является свидетельством одного из наиболее значимых примеров международного сотрудничества в сфере глобальной экологии. Здесь мы добились исключительно эффективных результатов, а в процессе многолетней напряженной работы сформировался коллектив единомышленников из разных стран.

ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНОВ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сегодня многие из проблем, связанных с утилизацией ядерного наследия холодной войны в Северо-Западном регионе России, в основном решены. Но сохраняет актуальность задача реабилитации арктических акваторий, которые не входят в сферу действия СМП (в частности, бассейна Карского моря, где было затоплено большое количество ЯРОО). С учетом важности арктического региона, где находятся огромные запасы полезных ископаемых и углеводородного сырья, для экономики России, очевидна необходимость разработки руководящего документа (Стратегического Мастер-плана) по решению экологических проблем Арктики. По мнению ведущих российских и зарубежных специалистов в области экологической и радиационной безопасности, участвующих в работе Контактной экспертной группы (КЭГ) МАГАТЭ, основной задачей на первом этапе будет получение и систематизация результатов комплексных инженерных и

радиационных обследований затопленных объектов, содержащих ОЯТ.

Другой глобальной задачей, требующей решения, является разработка плана комплексной утилизации объектов атомного флота и береговой инфраструктуры в Дальневосточном регионе России. По заказу Госкорпорации «Росатом» в 2010 г. в ИСУП СМП была включена Программа комплексной утилизации для Дальнего Востока (ПКУ ДВ), аналогичная ПКУ для Северо-Запада. В 2011 г. в ПКУ ДВ внесены подпрограммы «Утилизация судов АТО», «Утилизация надводных кораблей с ЯЭУ», а с 2012 г. — подпрограмма «Обращение с ОЯТ в Дальневосточном регионе» (относится к береговым техническим базам ВМФ в бухте Крашенинникова и бухте Сысоева, переданным в ведение филиала Госкорпорации «Росатом» — «ДальРАО»).

ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕЙ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Научной основой разработки стратегических концепций комплексной утилизации объектов Тихоокеанского флота (ТОФ) и экологической реабилитации морских акваторий являются выполненные с участием специалистов ИБРАЭ РАН натурные радиологи-

ческие исследования в районах размещения ЯРОО и результаты численного моделирования процессов распространения радиоактивных загрязнений в окружающую среду при авариях и инцидентах на объектах ТОФ.

В течение 15 лет проводилось изучение радиозоологической обстановки в бухте Чажма (Приморский край), где 10 августа 1985 г. произошла тяжелая авария реактора АПЛ с утечкой радиоактивных веществ. Были изучены динамика развития радиоактивного загрязнения на прилегающей территории и морских акваториях, миграция техногенных радионуклидов по растительным и пищевым цепочкам, оценены радиационные риски для населения. Проведено ретроспективное восстановление начальной стадии аварии и моделирование основных процессов, сопровождавших перенос радиоактивных веществ в атмосфере и водной среде.

Исследованы состояние и возможности производственной инфраструктуры по обращению с ЯЭУ, ОЯТ и РАО на примере изучения последствий радиационных аварий хранилищ ОЯТ и РАО в бухте Сысоева на территории береговой технической базы ТОФ, аварий при выгрузке дефектного ОЯТ с аварийных плавучих мастерских ПМ-80 и ПМ-32 и последствий

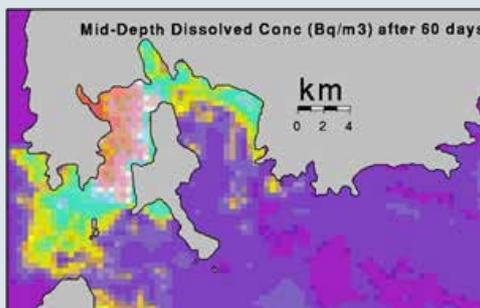
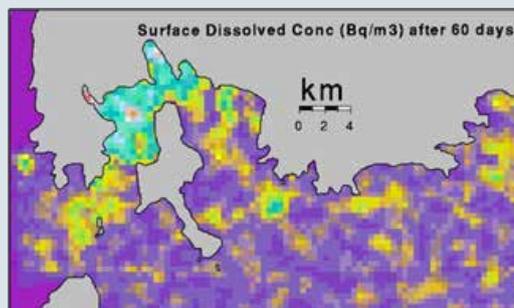
длительного хранения АПЛ с аварийными ЯЭУ в бухте Павловского.

ИБРАЭ РАН проведено численное моделирование процессов трансграничного переноса радионуклидов на большие расстояния по воздуху и воде при возможных авариях с ЯЭУ и ОЯТ в Дальневосточном регионе с использованием адаптированных к условиям северо-западной части Тихого океана математических моделей. Результаты моделирования показывают, что при аварии практически на любом участке маршрута транспортировки ОЯТ с Камчатки в Приморье радиоактивные вещества достигнут побережья США, Канады и Японии в концентрациях, на 10—30% превышающих их фоновое содержание в морской воде, а при аварии в проливе Лаперуза — превышающих допустимые нормы. Радиозоологические последствия для США, Канады при аварии в районе Камчатки и для Японии и Кореи при аварии в районе Владивостока будут незначительны, но вполне регистрируемы и могут вызвать отрицательную реакцию этих стран.

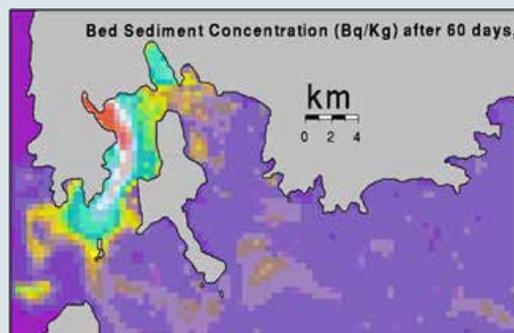
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведения научных исследований ИБРАЭ РАН выявлены проблемы, осложняющие проведение работ по комплексной утилизации АПЛ и реабилитации загрязненных территорий в Дальневосточном регионе России. Намечены основные пути решения этих проблем с учетом приоритетов действий.

Составлен перечень актуальных мероприятий и проектов по обращению с утилизируемыми объектами. Показана необходимость разработки Стратегического Мастер-плана утилизации и экологической реабилитации объектов атомного флота и обеспечивающей инфраструктуры в Дальневосточном регионе.



Прогноз распространения через 60 дней после аварии радиоактивных веществ морским путем из бухты Чажмы в залив Стрелок и далее в открытую часть Японского моря



Данные фактического загрязнения донных отложений ⁶⁰Со

УЧАСТИЕ ИБРАЭ РАН В СЕМИНАРАХ КОНТАКТНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ МАГАТЭ

Контактная экспертная группа (КЭГ) в рамках МАГАТЭ была организована в 1996 г. по инициативе ряда скандинавских государств. В ее состав входят ученые, эксперты и специалисты в области радиационной и экологической безопасности, представляющие ведущие научные центры различных стран и профильные международные организации. ИБРАЭ РАН в лице Л. А. Большова, А. А. Саркисова, И. И. Линге, С. В. Антипова принимают активное участие в деятельности этой структуры, в подготовке и проведении регулярных семинаров и пленарных заседаний КЭГ, посвященных обсуждению актуальных вопросов международного сотрудничества в данной сфере, выработке основных

механизмов взаимодействия со странами-донорами при реализации проектов комплексной утилизации АПЛ, реабилитации ЯРОО и территорий.

Юбилейное, 25-е пленарное заседание КЭГ состоялось 6—7 октября 2011 г. в городке Больсте под Стокгольмом. На нем, как и на состоявшемся ранее семинаре во Владивостоке, обсуждались проблемы радиационной безопасности Ледовитого и Тихого океанов, возможности инициирования новых проектов международного сотрудничества, перспективы продолжения программы Глобального партнерства, срок действия которой истек в 2012 г.

*Рабочий момент на заседании КЭГ МАГАТЭ, Оттава, октябрь 2010 г.
слева направо:
зам. директора ИБРАЭ
С. В. Антипов,
академик А. А. Саркисов*



АТОМНЫЕ СТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ И ПЛАВУЧИЕ АЭС

АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ

Радикальным решением проблемы энергообеспечения отдаленных и труднодоступных регионов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока является широкое внедрение атомных станций малой мощности (АСММ). Потребность этих регионов в дополнительных источниках электрической и тепловой энергии на период до 2030 г. составит порядка 20 ГВт. Это означает необходимость производства нескольких сотен АСММ мощностью 10—100 МВт.

Россия обладает приоритетом в разработке малогабаритных атомных энергоустановок как «традиционного» водо-водяного типа (КЛТ-40С), так и перспективных на быстрых нейтронах с жидкометаллическим свинцово-висмутовым теплоносителем (СВБР-100). Эти разработки используют опыт создания ЯЭУ боевых кораблей, АПЛ и атомных ледоколов, основанный на наличии уникальных ядерных технологий, в частности, технологии реакторов на промежуточных нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем.



Плавающая АТЭС на базе установки КЛТ-40С атомного ледокола

Характерной особенностью российских разработок реакторных установок малой мощности является их ориентированность на применение в составе плавучих или малогабаритных мобильных АСММ. Такой

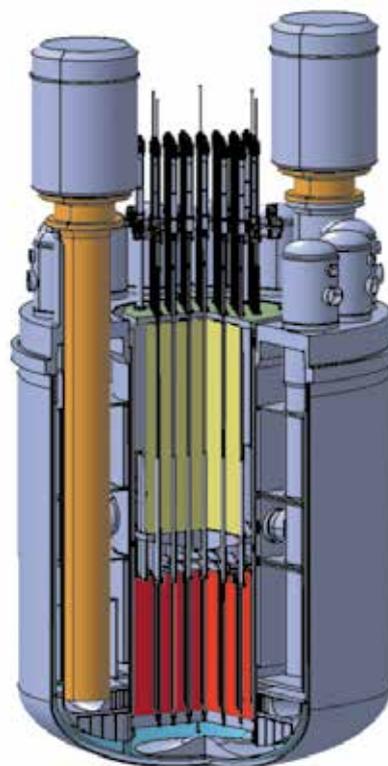
подход позволяет избежать многих сложностей, возникающих при создании инфраструктуры, необходимой для функционирования стационарных АЭС в труднодоступных регионах Сибири и Дальнего Востока.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящее время завершается строительство первой в мире плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) малой мощности на основе судовой реакторной установки КЛТ-40С водо-водяного типа электрической мощностью 70 МВт, разработанной ОАО «ОКБМ Африкантов». Основными достоинствами ПАТЭС являются: мобильность; возможность размещения практически в любой береговой зоне, в том числе в районах высокой сейсмической активности и вечной мерзлоты; отсутствие необходимости в развитой береговой инфраструктуре; высокий уровень экологической и радиационной безопасности (после окончания эксплуатации ПАТЭС береговые сооружения могут быть утилизированы до состояния «зеленой лужайки»).

Обоснование водородной безопасности и систем удержания расплава реакторных установок для ПАТЭС и АСММ проводилось с использованием разработанного в ИБРАЭ РАН тяжелоаварийного расчетного комплекса СОКРАТ. Расчеты по различным сценариям протекания тяжелых аварий показали высокую надежность реакторных установок КЛТ-40С.

Создание и серийное производство ПАТЭС позволит не только повысить уровень жизни населения отдаленных районов Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, но и значительно увеличить экспортный потенциал России.



Реакторный моноблок СВБР-100



DEFENSE DE STOCKER A2

André
LABREUR

Экология и обеспечение ядерной и радиационной безопасности России



Линге Игорь Иннокентьевич
доктор технических наук,
заместитель директора ИБРАЭ РАН
по информационно-аналитической поддержке
комплексных проблем ядерной и радиационной безопасности

С момента создания Института одно из основных направлений его деятельности было связано с чернобыльской тематикой и включало в себя разработку моделей, оценку последствий, а также поддержку органов управления по преодолению последствий аварии и извлечение уроков для задач аварийного реагирования. С середины 1990-х годов последнее направление привлекло внимание не только зарубежных заказчиков, но и МЧС и Минатома России. Накопленный опыт оценки рисков, связанных с прошлыми авариями, инициировал интерес отдельных организаций и Минатома в целом к анализу ситуации в районах расположения действующих предприятий, оценке состояния самих объектов ядерного топливного цикла и выработке мер по повышению уровня их безопасности. С начала 2000-х годов ИБРАЭ РАН активно привлекается Госкорпорацией «Росатом» к деятельности по обеспечению безопасности на завершающих стадиях жизненного цикла предприятий ядерного топливного цикла включая разработку концепций, программ, нормативно-правовых документов, рекомендаций, а также развитие вычислительных методов и расчетного инструментария анализа ядерной, радиационной и экологической безопасности. Около десяти последних лет ИБРАЭ РАН активно занимается проблемами безопасности объектов ядерного наследия, создания и развития систем обращения с РАО, ОЯТ, вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии, осуществляет организационное и научно-техническое сопровождение федеральной целевой программы обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

В настоящее время обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности объектов атомной энергетики является одним из приоритетных направлений деятельности ИБРАЭ РАН. В рамках этого научного направления в Институте решаются следующие задачи:

- разработка и сопровождение ФЦП по обеспечению ядерной и радиационной безопасности России;
- разработка программ и планов обеспечения безопасности отдельных производственных комплексов;
- участие в разработке регулирующих и нормативно-правовых документов в области ядерной и радиационной безопасности;

- анализ безопасности объектов ядерного наследия, разработка и внедрение программно-технических средств такого анализа;
- исследования проблем безопасности при обращении с ОЯТ, РАО и выводе объектов использования атомной энергии из эксплуатации;
- системные исследования экологических рисков и проблем, связанных с ликвидацией последствий радиационных аварий;
- анализ общественного мнения и информирование населения по вопросам ядерной, радиационной и экологической безопасности.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

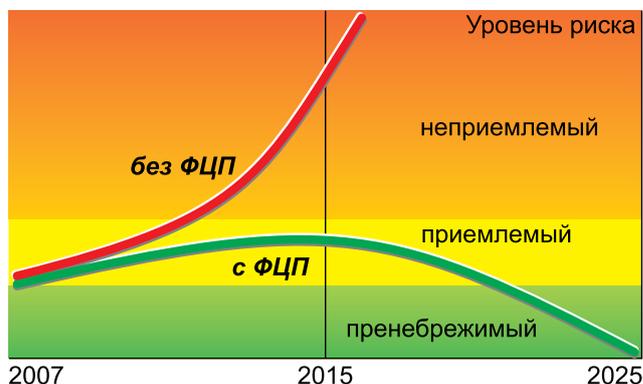
Вплоть до начала 2000-х годов в России при обращении с ОЯТ и РАО действовала концепция отложенных решений, что привело к накоплению проблем и росту потенциальных угроз для радиационной и экологической безопасности нашей страны.

Опыт зарубежных стран (США, Франция, Великобритания) показал, что добиться существенного снижения рисков и обеспечить безопасное состояние объектов ядерного наследия можно лишь при условии активного государственного участия в решении этих проблем, в том числе путем реализации целевых программ. В 2005 г. ИБРАЭ РАН было поручено разработать федеральную целевую программу (ФЦП) «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2007 год и на период до 2010 года». В марте 2006 г. разработанный проект концепции ФЦП на 2007—2010 гг. с проектом распоряжения Правительства Российской Федерации об ее утверждении и пояснительной запиской был направлен на согласование заинтересованным федеральным органам исполнительной власти и руководству РАН. 14 марта 2006 г. вопросы ядерной и радиационной безопасности и развития атомного энергопромышленного комплекса России были рассмотрены Президентом Российской Федерации. В результате коренным образом изменился подход к планированию государственных расходов и деятельности по обеспечению ядерной и радиационной безопасности. В соответствии с перечнем поручений Президента Российской Федерации от 16 марта 2006 г. и поручением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2006 г. была начата разработка проекта концепции ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015

года» (далее — Программа), а также формирование Перечня мероприятий по обеспечению ядерной, радиационной и экологической безопасности на 2007 г. для включения соответствующих расходов в проект Федерального бюджета на 2007 г.

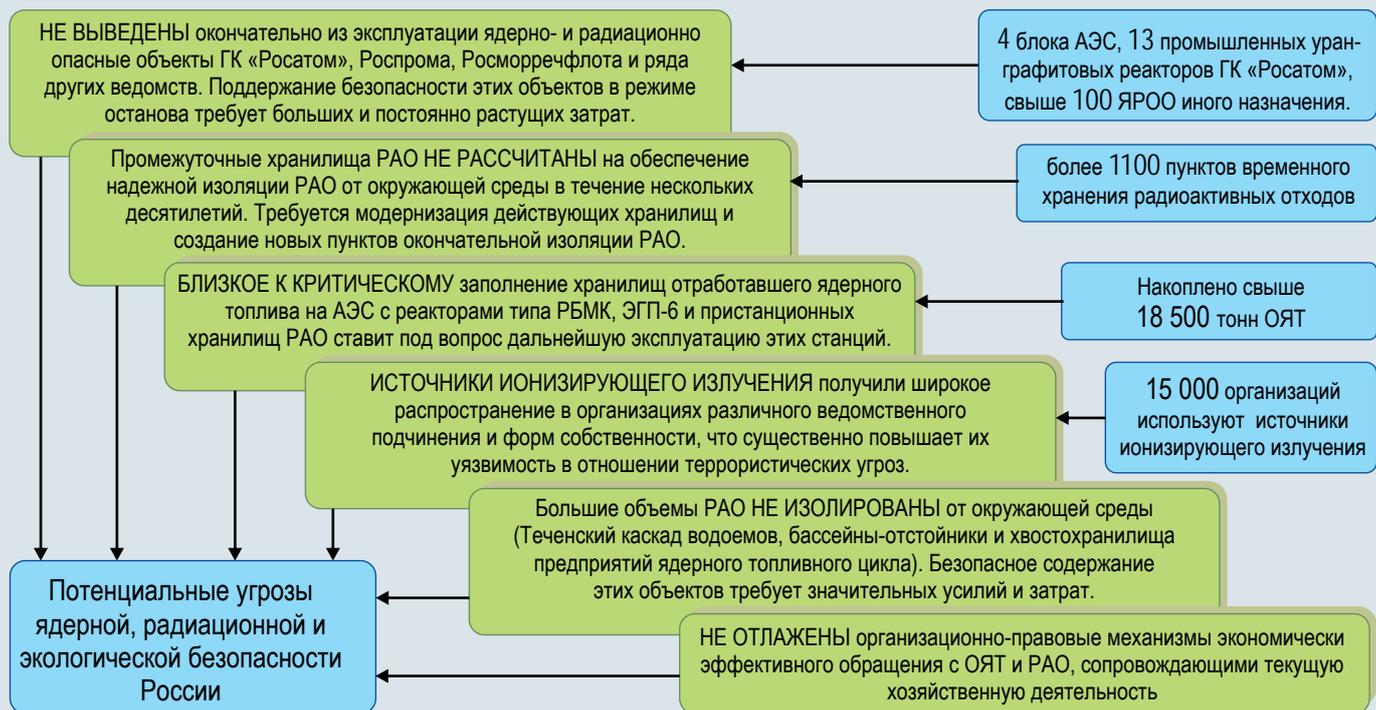
В 2007 г. распоряжением Правительства Российской Федерации была утверждена Концепция Программы.

Государственным заказчиком — координатором Программы является Госкорпорация по атомной энергии «Росатом», а государственными заказчиками мероприятий программы — Министерство Российской Федерации по чрезвычайным ситуациям, Федеральная



Прогнозы развития ситуации в сфере безопасности обращения с РАО в случае активного вмешательства государства в решение накопившихся проблем (ФЦП) и без вмешательства государства

ПРОБЛЕМЫ В ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ И РАО, НАКОПЛЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ «ОТЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ»



служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Федеральное агентство морского и речного транспорта, Федеральное медико-биологическое агентство, Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, Министерство энергетики Российской Федерации, Министерство образования и науки Российской Федерации, НИЦ «Курчатовский институт». Участие в разработке Концепции ФЦП приняли также учреждения РАН, РАМН, РАСХН и др.

Разработанная в соответствии с этой концепцией Программа утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 13.07.2007 г. № 444. Основной целью Программы является комплексное решение проблем обеспечения ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации. Она охватывает вопросы обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов, разработки и совершенствования систем, необходимых для обеспечения и контроля ядерной и радиационной безопасности.

УЧАСТИЕ ИБРАЭ РАН В ПРОГРАММЕ

С 2008 г. ИБРАЭ РАН обеспечивает организационное и научно-техническое сопровождение Программы включая:

- мониторинг реализации мероприятий Программы и ведение соответствующих баз данных;
- подготовку материалов для отчетности о ходе выполнения Программы, в том числе отчетности по целевым индикаторам и показателям;

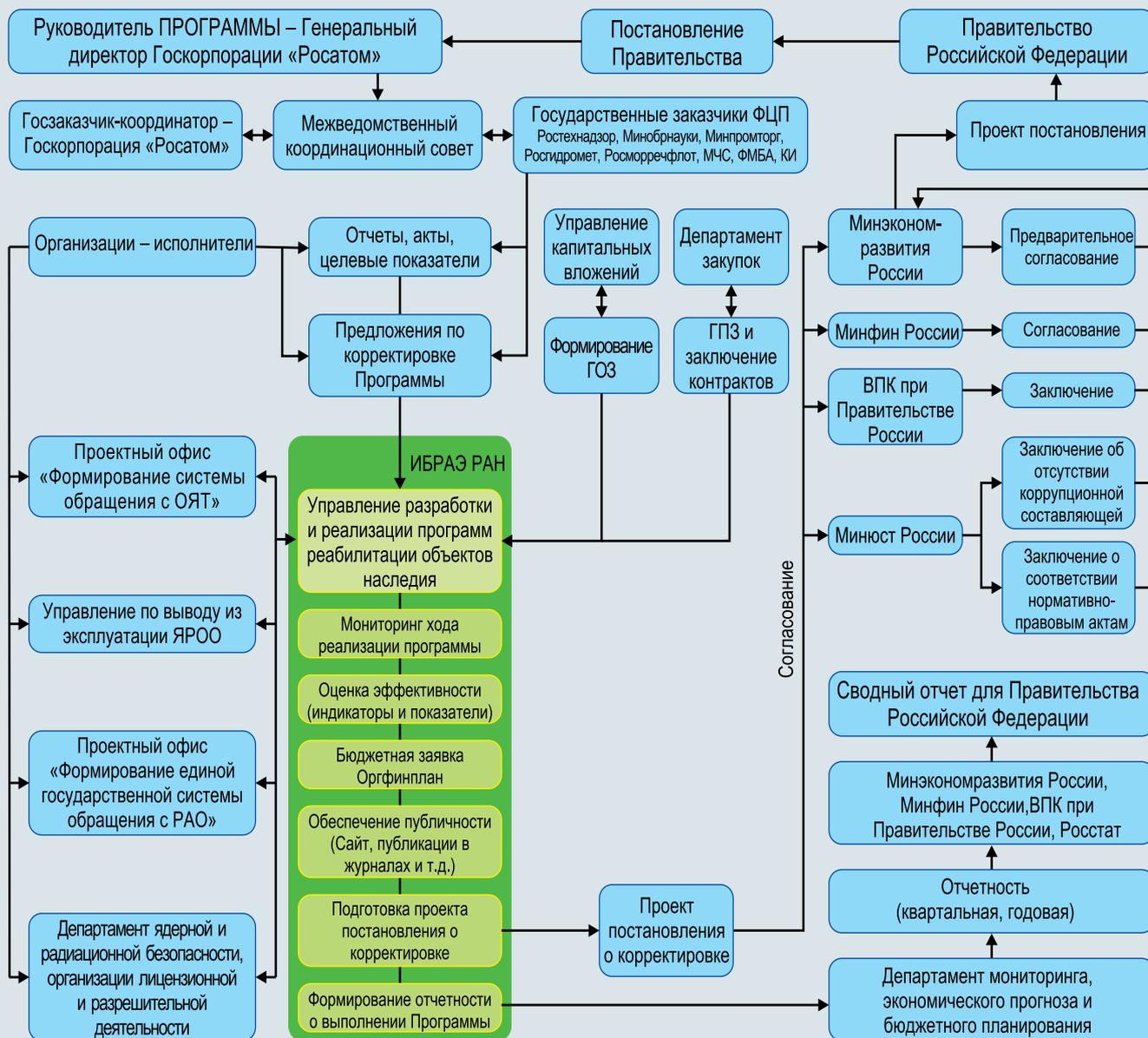
- формирование на базе планово-отчетной информации по Программе аналитических материалов по реализации программы деятельности Госкорпорации «Росатом» на долгосрочный период (2009—2015 годы), основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2012 года в части обеспечения ядерной и радиационной безопасности, подпрограммы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2012—2020 годы» в рамках государственной программы Рос-

сийской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса»;

- подготовку материалов для принятия управленческих решений государственным заказчиком и координатором Программы — Госкорпорацией «Росатом»;
- информационную поддержку Госкорпорации «Росатом» по вопросам реализации Программы;
- подготовку предложений по внесению изменений в Программу;

- организацию совещаний и семинаров по тематике Программы;
- сбор, систематизацию и архивное хранение документов по Программе (реестры государственных контрактов и дополнительных соглашений, отчеты, акты сдачи-приемки, реестры исполнителей и соисполнителей и др.), подготовка материалов для введения в базу данных по экспертной поддержке реализации мероприятий Программы;

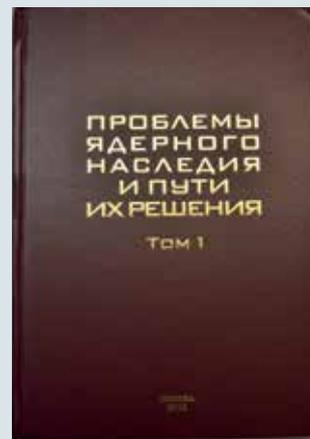
РОЛЬ И МЕСТО ИБРАЗ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММОЙ





Пример размещения материалов на сайте Программы

Монография «Проблемы ядерного наследия и пути их решения», значительный вклад в подготовку которой внесли специалисты ИБРАЭ РАН, посвящена изучению стратегических направлений развития атомной отрасли в области обращения с радиоактивными отходами



- размещение на официальном сайте Программы в сети Интернет информации о ходе и результатах реализации ФЦП, финансировании ее мероприятий, проводимых конкурсах и критериях определения победителей и др.

Весомым вкладом ИБРАЭ РАН в развитие методологии и научно-информационной базы обеспечения ядерной и радиационной безопасности стала подготовка трехтомной монографии «Проблемы ядерного наследия и пути их решения», первые два тома которой

вышли в свет в 2012 и 2013 гг. В монографии рассмотрены как общие вопросы формирования проблем ядерного наследия, так и актуальные задачи и концепции обращения с радиоактивными отходами.

В настоящее время усилия специалистов ИБРАЭ РАН направлены на разработку Концепции федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2025 года».

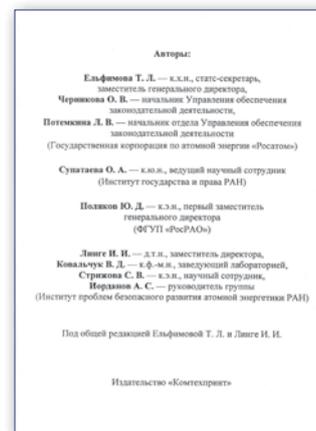
РАЗРАБОТКА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В июле 2011 г. вступил в силу Федеральный закон № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее Федеральный закон), в разработке которого активное участие приняли специалисты ИБРАЭ РАН. Основная идея закона — выход из режима накопления проблем в области обращения с радиоактивными отходами за счет создания единой государственной системы обращения с РАО в Российской Федерации (ЕГС РАО), предусматривающей переход к практике обязательного захоронения РАО, как накопленных ранее, так и вновь образующихся.

Закон разработан в соответствии с международными обязательствами Российской Федерации (в частности, в 2006 г. Россия ратифицировала Объединенную конвенцию о безопасности обращения с ОЯТ и РАО) и действующим законодательством в области использования атомной энергии и в смежных областях включая законодательство об охране окружающей среды и экологической безопасности.

В Комментарии к Федеральному закону, подготовленном при активном участии специалистов ИБРАЭ РАН,

Института государства и права РАН и ФГУП «РосРАО», приведено описание общего состояния правового регулирования обращения с радиоактивными отходами и даны постатейные пояснения по содержанию Федерального закона. В ряде случаев рассмотрены варианты реализации отдельных положений Феде-



Титульный лист Комментария к Федеральному закону №190-ФЗ

рального закона, которые будут определяться подзаконными актами различного уровня.

В 2008—2011 гг. при активном участии специалистов ИБРАЭ РАН был разработан «Стратегический

план повышения радиационной безопасности на объектах Российской академии наук», реализацию которого в качестве головной организации осуществляет ИБРАЭ РАН.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИБРАЭ РАН В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО

В последние годы в связи с реализацией федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» приобрели чрезвычайную актуальность задачи обеспечения радиозоологической безопасности захоронения радиоактивных отходов. К ним, в частности, относятся проблемы обоснования:

- простых и дешевых решений по захоронению очень низкоактивных радиоактивных отходов;
- безопасности действующих объектов захоронения отходов включая полигоны закачки жидких РАО и пункты размещения особых РАО;
- решений по сооружению объектов окончательной изоляции НАО и САО;
- безопасности объекта окончательной изоляции ВАО глубинного типа.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты выполненных ранее натурных экспериментов и полевых наблюдений свидетельствуют о том, что процессы переноса радиоактивной примеси в геологических средах зачастую не могут быть описаны классическими закономерностями, основанными на законе фильтрации Дарси и законе диффузии Фика. Предпосылками к возникновению аномальных режимов миграции примеси служат такие особенности сред, как фрактальная геометрия системы трещин, резкий контраст в распределении структурных характеристик и сильные пространственные флуктуации. В ИБРАЭ РАН разработан целый ряд новых физических моделей для описания неклассических процессов переноса. Среди них — модель случайной адвекции, перенос примеси по перколяционным средам, модели, учитывающие неравновесные процессы сорбции на неподвижной матрице и на коллоидных частицах в регулярно-неоднородных и фрактальных средах, многомерные стохастические модели случайных блужданий (FLM). На основе модели двумерной фракталь-

Решение этих задач основано на разработке современной методологии обоснования безопасности обращения с РАО и создании соответствующих расчетных кодов.

ИБРАЭ РАН проводит масштабные фундаментальные и прикладные исследования в области обоснования безопасности захоронений РАО, а также объектов ядерного наследия. Основные направления этих исследований включают в себя:

- развитие общей методологии обоснования безопасности обращения с ОЯТ и РАО;
- создание программных средств расчетной оценки безопасности захоронений;
- выполнение работ по оценке безопасности конкретных объектов;
- разработку неклассических моделей миграции радионуклидов в геологических средах.

ной стохастической трещиноватой среды реализован алгоритм прямого численного моделирования миграции радионуклидов, учитывающий анизотропию среды как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Для моделирования процессов миграции радионуклидов в подземных водах, неоднородных и пористых геологических средах в ИБРАЭ РАН разрабатываются программные средства нового поколения, использующие возможности современных суперкомпьютеров по реализации наиболее эффективных с точки зрения быстродействия и надежности численных методов (в частности, методики адаптивных расчетных сеток). Эти программные коды составят основу расчетных средств анализа безопасности объектов захоронения и окончательной изоляции РАО.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований ИБРАЭ РАН в области расчетного обоснования

Прибытие первого поезда с ОЯТ Ленинградской АЭС в новое сухое хранилище на ГХК. Создание этого хранилища явилось одним из ключевых результатов ФЦП ЯРБ

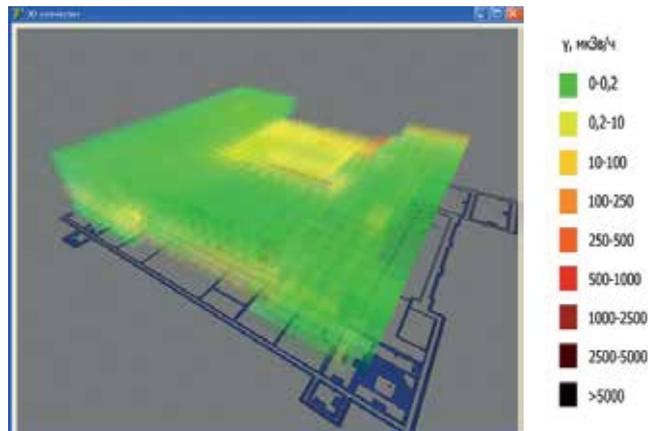


безопасности применяются как на конкретных объектах (Теченский каскад водоемов, промышленные уран-графитовые реакторы на ОАО «СХК», ФГУП «ПО Маяк», полигон закачки жидких РАО «Северный» на ФГУП «Горно-химический комбинат», Кирово-Чепецкий химический комбинат, объекты захоронения НАО и САО), так и в работах по научно-технической поддержке ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» и ФЦП «Новая технологическая платформа атомной энергетики».

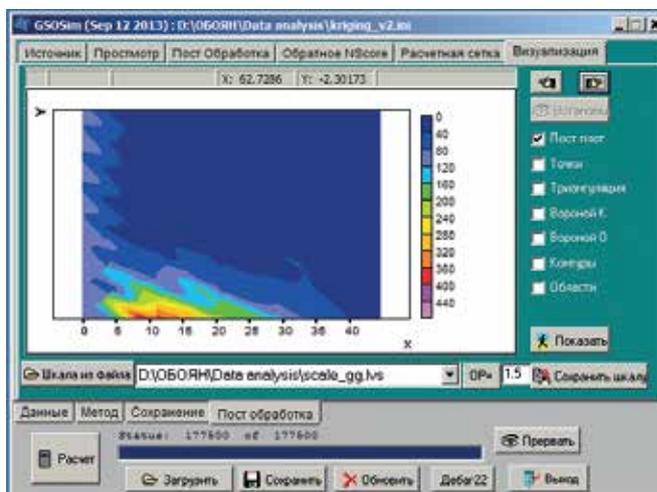
ПРОГРАММНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ РАО

КОМПЛЕКС ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ «ОБОЯН»

В комплекс программно-технических средств анализа ядерной, радиационной и экологической безопасности объектов ядерного наследия («ОБОЯН») наряду с системами инструментального анализа объектов и окружающей среды входят программные средства расчетного моделирования и прогноза радиационной обстановки. Интерфейс комплекса обеспечивает взаимодействие его систем с использованием баз данных по объектам и представлением информации в удобной для пользователя форме. Анализ возможных сценариев эволюции объектов ядерного наследия осуществляется на основе результатов моделирования радиационных полей, моделирования миграции радионуклидов с учетом процессов деградации барьеров безопасности камерными и 3D-моделями,



Определение радиационной обстановки в помещениях объекта ядерного наследия



Распределение мощности дозы по помещению здания ПХРАО

а также оценки радиационных рисков для населения и персонала при различных условиях организации работ на этих объектах.

Обработка и визуализация данных осуществляется с использованием пространственного картирования непрерывных или категориальных пространственных (1D, 2D и 3D) либо пространственно-временных переменных. Алгоритмическую основу картирования составляют модули, реализующие методы пространственной статистики (геостатистики).

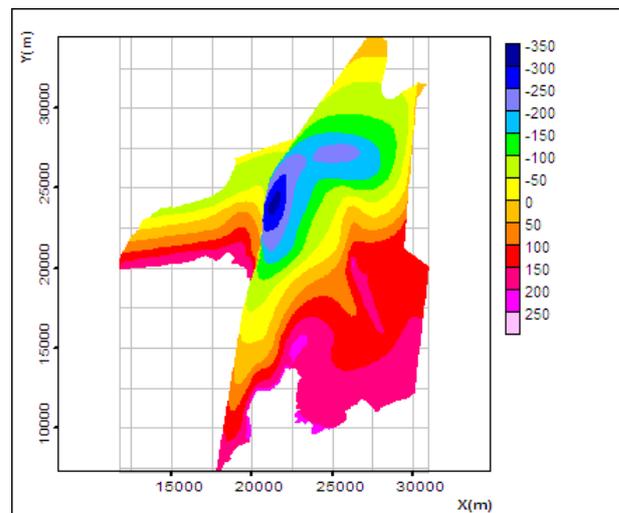
В настоящее время программно-технический комплекс ОБОЯН применяется при обследовании объектов ОАО «ОДЦ УГР».

ГЕОФИЛЬТРАЦИОННАЯ–ГЕОМИГРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ЖРО «СЕВЕРНЫЙ»

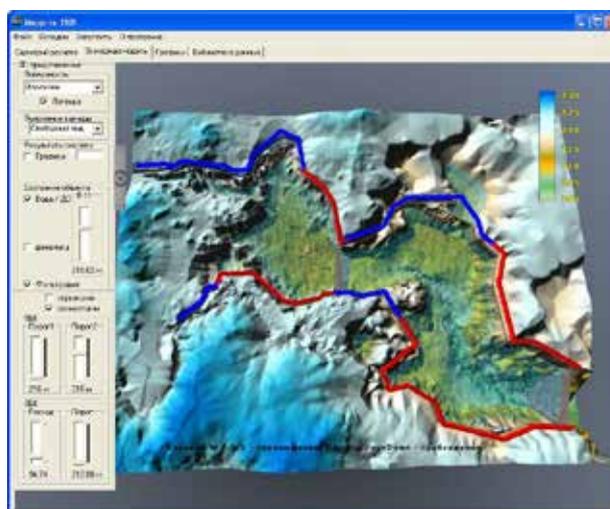
Программный инструментариий создается с целью проведения расчетов в рамках обоснования безопасности полигона «Северный». Результаты этих расчетов будут использоваться для выбора оптимальных стратегий эксплуатации объекта, вывода из эксплуатации и последующей экологической реабилитации. К настоящему времени создана подробная геологическая модель объекта, наполнена база исходных данных с результатами измерений и мониторинга за более чем 45-летний период ведения наблюдений, разработаны математические и численные модели процессов, существенных для переноса загрязнений, и проводится их верификация.

РАСЧЕТНО-МОНИТОРИНГОВЫЙ КОМПЛЕКС ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ТКВ

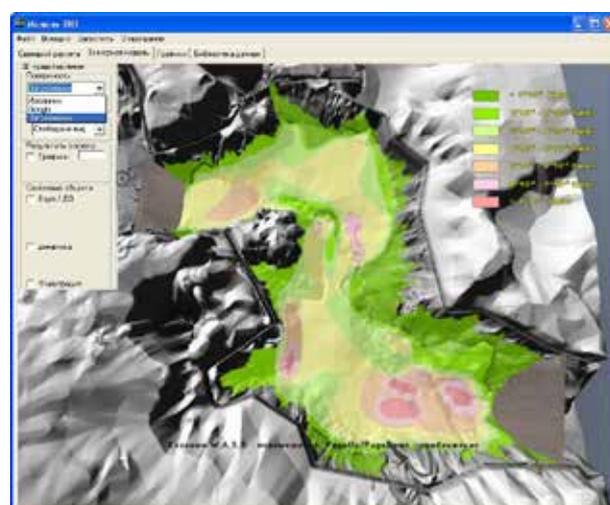
Расчетно-мониторинговый комплекс разработан с целью проведения постоянного мониторинга, оперативного анализа и прогноза состояния Теченского каскада водоемов (ТКВ). Комплекс включает в себя взаимосвязанные математические модели по всем параметрам опасности объекта и использует регулярно обновляемую информацию из существующих баз данных объектовой АСКРО, развернутой на ФГУП ПО «Маяк». В настоящее время комплекс применяется для управления водно-химическим состоянием ТКВ. На основе полученных с его помощью аналитических данных ведется разработка Стратегического Мастер-плана решения проблемы экологической реабилитации ТКВ.



Модель фундамента полигона «Северный»



Расчет фильтрации между обводными каналами и водоемами ТКВ



Анализ состояния ТКВ. Отображение результатов расчета в виде карт распределения параметров

ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ С УЧАСТИЕМ ИБРАЭ РАН В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С момента своего создания и по настоящее время ИБРАЭ РАН в сотрудничестве с ведущими российскими, зарубежными и международными организациями атомной отрасли принял участие в работах по целому

ряду проектов и программ в сфере обеспечения безопасности объектов ядерного наследия, окружающей среды и населения.

Год	Мероприятия	Заказчик и партнеры
1989	Организация международного сотрудничества по аварии на ЧАЭС	
1991	Информационно-аналитическая поддержка Госкомчернобыля СССР. Создание Центрального банка обобщенных данных по последствиям чернобыльской аварии	Госкомчернобыль СССР
1992	Информационно-аналитическое обеспечение, разработка и сопровождение программы по преодолению последствий аварии на ЧАЭС на 1992—1995 гг. и до 2000 г.; программ 1997, 2001 и 2011 гг. и сопровождение всех последующих программ	Госкомчернобыль России, МЧС России
1993	Разработка комплекса миграционных (атмосфера, почва) и дозиметрических программ и программ оценки радиационных рисков	Госкомчернобыль России
1994	Разработка радиоэкологических геоинформационных систем и методов геостатистики	Госкомчернобыль России
1996	Подготовка издания МАГАТЭ «Десять лет после Чернобыля — последствия для окружающей среды»	МАГАТЭ
1996	Подготовка Российского национального доклада по последствиям аварии на ЧАЭС (а также последующих докладов в 2001, 2006, 2011 гг.)	МЧС России
1997	Создан первый тренажерный программный комплекс, предназначенный для отработки мер по защите населения при крупной радиационной аварии	IPSN
1998	Стартовал пилотный проект в области сравнительного анализа радиационных и химических рисков	МЧС России
1998	Анализ эффективности защитных мер по Теченскому каскаду водоемов (проект IIASA)	IIASA
1999	Стартовал проект «Радиоэкология» IPSN-GRS (франко-германская инициатива по Чернобылю) Международный семинар «Локализация РАО в геологических формациях»	IPSN-GRS
2000	Оценка рисков при обращении с ОЯТ	Минатом России
2000	Разработка первых мультимедийных продуктов по проблемам радиоэкологии и оценки рисков	ТАСИС, Минатом России
2001	Подготовка Отчета по безопасности Минатома России за 2001 г. (и последующих годовых отчетов за 2002—2012 гг.)	Минатом России
2002	Создание Российско-белорусского информационного центра по проблемам преодоления последствий чернобыльской катастрофы	Программа Союзного государства

Год	Мероприятия	Заказчик и партнеры
2003	Разработка Комплексного плана решения экологических проблем ФГУП «ПО «Маяк»	Минатом России, ФГУП «ПО «Маяк»
2004	Начало комплексных исследований экологических рисков в регионах (Южный Урал, Северо-Запад, Дальний Восток, Томская область, Воронежская область, Красноярский край)	DOE, СХК, Росэнергоатом, ГХК
2005	Обоснование снижения рисков при ввозе ОЯТ исследовательских реакторов	Техснабэкспорт
2006	Подготовка Первого национального доклада РФ о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с ОЯТ и РАО (затем в 2009, 2012 гг.)	Росатом, НТЦ ЯРБ
2007	Разработка ФЦП «Ядерная и радиационная безопасность на 2008—2015 гг.»	ГК «Росатом»
2008	Проект Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами» и сопровождение его принятия	ГК «Росатом»
2009	Международные семинары по системе обращения с РАО	ГК «Росатом», SKB
2010	Обоснование и утверждение статуса промышленных водоемов ФГУП «ПО «Маяк» как объектов использования атомной энергии	ГК «Росатом», ФГУП «ПО «Маяк», Минприроды
2011	Разработка расчетного геомиграционного комплекса для полигона «Северный». Подготовка Комментариев к ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами». Межотраслевой семинар «Обоснование безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов на базе современных моделей переноса радионуклидов в геологических формациях и инженерных барьерах»	ГХК, НО РАО
2012	Научное сопровождение миссии МАГАТЭ по международной экспертной оценке российской практики глубинной закачки ЖРО	ГК «Росатом»
2013	Участие в разработке ФЦП ЯРБ на 2016—2020 гг. и на период до 2025 г.	

УЧАСТИЕ ИБРАЭ РАН В МЕРОПРИЯТИЯХ ПО ПРЕОДОЛЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Многие ведущие ученые и специалисты ИБРАЭ РАН еще до создания Института принимали непосредственное участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС — Л. А. Большов, Р. В. Арутюнян, И. И. Линге, В. Ф. Стрижов, С. В. Панченко, О. А. Павловский, Р. И. Бакин, А. В. Шикин, А. М. Скоробогатов.

С момента своего создания ИБРАЭ РАН ведет работы по информационно-аналитическому обеспечению программ преодоления последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В результате выполнения этих работ была создана необходимая информационная база, предназначенная для анализа различных аспектов поставившей ситуацию и обеспечения органов го-

сударственной власти всех уровней комплексной информацией. В нее, в частности, входит Центральный банк обобщенных данных (радиационно-гигиенических, демографических, медицинских, социальных и т. п.), интегрированные системы поддержки принятия решений, информационно-поисковые и справочные системы. Сформирован банк моделей и фонд алгоритмов и программ, создана геоинформационная система с картографической базой по районам повышенного радиационного риска. Все базы объединены в информационную систему «Чернобыль», различные компоненты которой функционируют в МЧС России и других организациях.



Награждение сотрудников ИБРАЭ — участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, РАН, 22 мая 1997 г.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА МЧС РОССИИ

С 1996 г. ИБРАЭ РАН обеспечивает информационно-аналитическую поддержку работ МЧС России по формированию перечней населенных пунктов, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения вследствие чернобыльской катастрофы.

Разработанная ИБРАЭ РАН информационно-справочная система обеспечивает ввод информации, формирование перечней населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие

аварии на Чернобыльской АЭС, а также сводных (интегральных) таблиц. Результаты проведенного ИБРАЭ РАН анализа современных данных показывают, что в настоящее время требованиям Закона Российской Федерации «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» соответствует 2 406 населенных пунктов, расположенных в 12 субъектах Российской Федерации с общим количеством жителей около 1 млн человек.

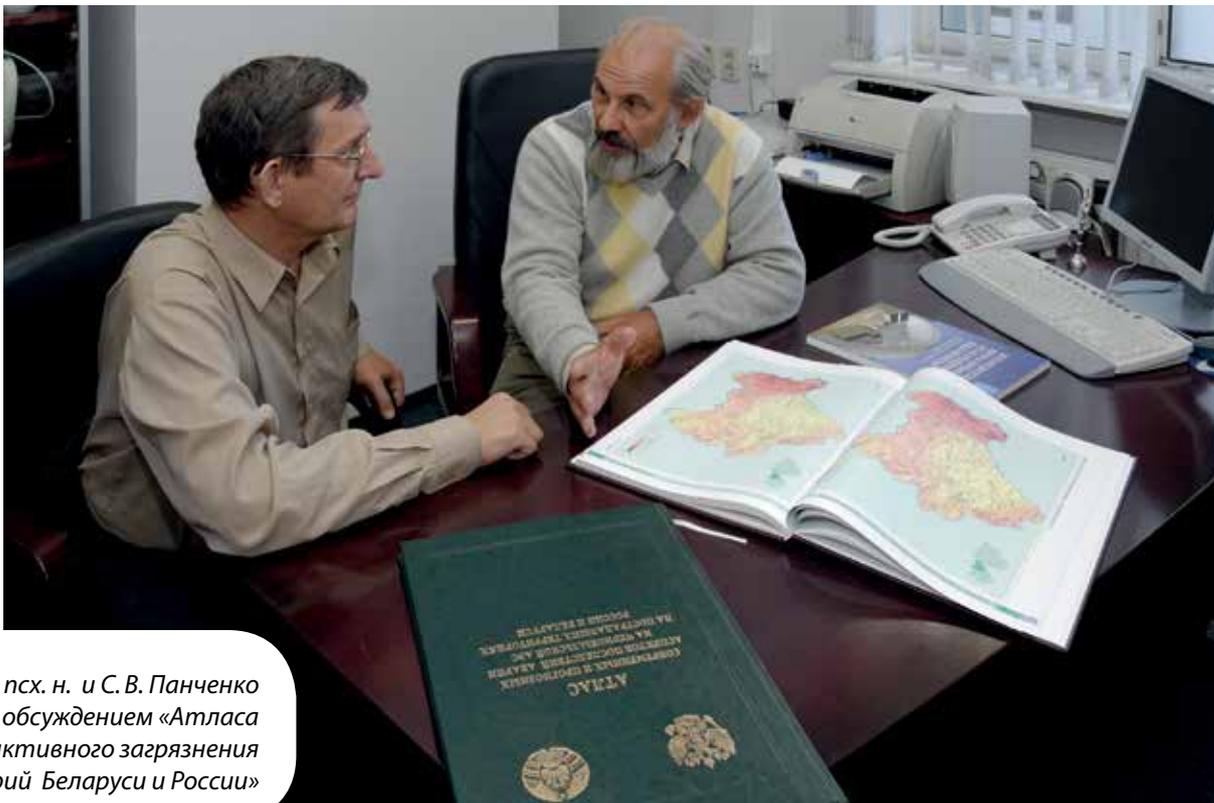
ОЦЕНКА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В 1991—1993 гг. при участии ИБРАЭ РАН была реализована российско-германская измерительная программа, целью которой являлось определение доз облучения населения территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие чернобыльской аварии.

Отличительной особенностью измерительной программы явилась комплексность научных исследований. Номенклатура проводимых работ охватывала широкий круг измерений и давала возможность оценить все возможные пути воздействия радионуклидов на организм человека, в том числе через органы дыхания и по пищевым цепочкам. Обследования охватили почти 60 населенных пунктов, расположенных на радиоактивно загрязненных территориях Брянской,

Тульской и Калужской областей, общей площадью около 100 тыс. км². Основное внимание было уделено измерениям на установках СИЧ доз внутреннего облучения жителей этих территорий. Были обследованы более 160 тыс. человек (из них около 50% — жители Брянской области).

Научные результаты 20-летнего изучения закономерностей формирования доз внутреннего облучения населения, включая и результаты российско-германской измерительной программы, были доложены на проведенном в 2006 г. в ИБРАЭ РАН международном семинаре «Оценка доз облучения жителей Брянской области на основе измерения содержания цезия-137 в организме облучаемого контингента».



*А. В. Симонов, к. псих. н. и С. В. Панченко
за обсуждением «Атласа
радиоактивного загрязнения
территорий Беларуси и России»*

УЧАСТИЕ ИБРАЭ РАН В РЕАЛИЗАЦИИ РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКИХ ПРОГРАММ ПО ЧЕРНОБЫЛЮ

Начиная с 1998 г. в решении чернобыльской проблемы Российская Федерация тесно взаимодействует с Республикой Беларусь. Основной целью первых российско-белорусских программ было формирование и совершенствование согласованных элементов и механизмов нормативного правового регулирования совместной деятельности России и Беларуси по преодолению последствий чернобыльской аварии.

В рамках работ по информационно-аналитическому обеспечению совместных действий в 1998—2005 гг. специалистами ИБРАЭ РАН совместно с Гомельским институтом радиологии был создан единый российско-белорусский банк данных по основным аспектам чернобыльской катастрофы. В 2003—2010 гг. на базе и при технической поддержке ИБРАЭ РАН функционировал российско-белорусский информационный центр (РБИЦ), целью деятельности которого являлась информационно-аналитическая поддержка реализации мероприятий программы, выработка и проведение единой информационной политики по чернобыльским проблемам в рамках Союзного государства, минимизация социально-психологических последствий чернобыльской катастрофы, преодоление пост-чернобыльского стресса и обеспечение высокой эффективности всего комплекса программных меропри-

ятий путем улучшения общественного восприятия и информированности общественности.

Специалисты ИБРАЭ РАН принимали участие в организации и проведении в 2002—2010 гг. мониторинга социально-психологической обстановки на радиоактивно загрязненных территориях России (Брянская, Калужская, Орловская и Тульская области) и Беларуси (Гомельская область).

В соответствии с «Программой совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства» в 2006—2009 гг. белорусскими и российскими специалистами выполнена большая и важная работа по подготовке и выпуску «Атласа радиоактивного загрязнения территорий Беларуси и России», включающего не только ретроспективные и современные, но и прогнозные карты. Сопредседателями редакционной коллегии Атласа выступили академик РАН Ю.А.Израэль и академик НАН Республики Беларусь И.М.Богдевич. В состав редакционной коллегии и рабочей группы по созданию Атласа входили специалисты ИБРАЭ РАН — Л.А.Большов, Р.В.Арутюнян, И.И.Линге, А.В.Симонов, А.М.Скоробогатов

В 2011—2013 гг. МЧС России и МЧС Республики Беларусь с участием специалистов ИБРАЭ РАН подготовлены и согласованы с заинтересованными министерствами двух государств концепция и Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года.

К числу важнейших направлений Программы относится комплекс мероприятий, обеспечивающих реализацию общей информационной, просветительской и социально-реабилитационной политики по проблемам радиационной безопасности, реабилитации и устойчивого развития загрязненных территорий.

ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ И ПРОГРАММЫ ПО ПРЕОДОЛЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ, В РЕАЛИЗАЦИИ КОТОРЫХ ПРИНИМАЛИ УЧАСТИЕ СПЕЦИАЛИСТЫ ИБРАЭ РАН

Государственные целевые программы по преодолению последствий радиационных аварий

- Единая государственная программа по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на 1992—1995 гг. и на период до 2000 года. Утверждена постановлением Верховного Совета Российской Федерации от 14 июля 1993 г. № 5437-1 в части неотложных мер на 1993—1995 гг.
- Федеральная целевая программа по защите населения Российской Федерации от воздействия последствий чернобыльской катастрофы на период до 2000 года. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 28 августа 1997 г. № 1112.
- Федеральная целевая программа «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2010 года» (постановление Правительства Российской Федерации от 29 августа 2001 года № 637) — 1 этап: 2002—2006 гг.
- Федеральная целевая программа «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2010 года» (постановление Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2006 г. № 793) — 2 этап: 2007—2010 гг.
- Начиная с 2011 г. реализуются мероприятия федеральной целевой программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года».

Техтур в Чернобыль для молодых ученых ИБРАЭ РАН, ноябрь 2011 г.



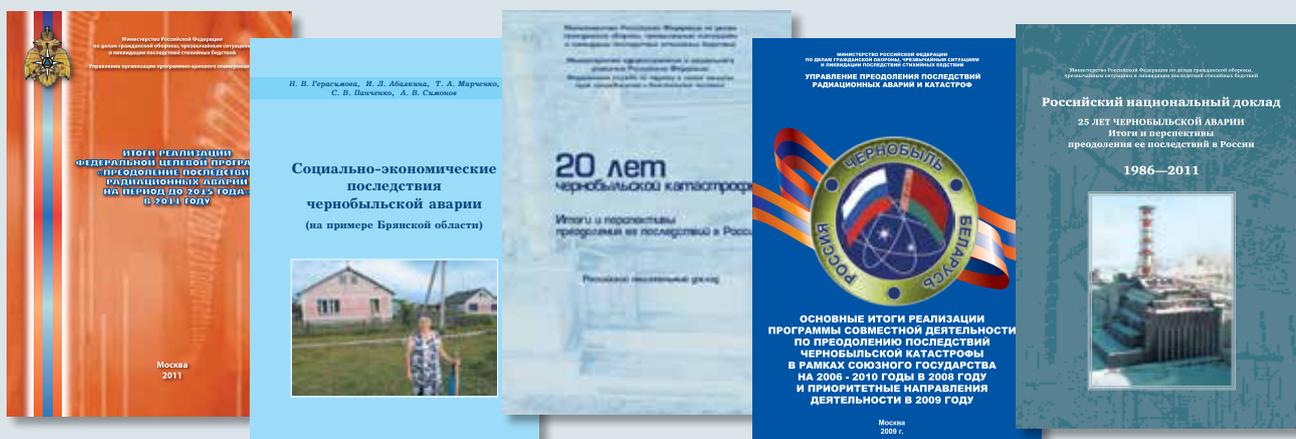
Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства

- Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союза Беларуси и России на 1998—2000 гг. (Постановление Исполнительного комитета Союза Беларуси и России от 10 июня 1998 года № 1. Постановлением Совета Министров Союзного государства от 21 декабря 2000 г. № 34 срок действия продлен на 2001 г.).
- Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2002—2005 гг. (постановление Совета Министров Союзного государства от 9 апреля 2002 г. № 17).
- Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006—2010 гг. (постановлением Совета Министров Союзного государства от 26 сентября 2006 года № 33).

Публикации по вопросам преодоления последствий чернобыльской аварии

За 25 лет своей деятельности ИБРАЭ РАН подготовил, в том числе в сотрудничестве с различными российскими и зарубежными организациями, большое количество публикаций, посвященных различным аспектам преодоления последствий чернобыльской аварии. В 1996, 2001, 2006 и 2011 гг. совместно с МЧС России были подготовлены российские национальные доклады по итогам и перспективам преодоления последствий чернобыльской аварии; в 2006 и 2011 гг. — тематические сборники по итогам реализации Федеральных целевых программ «Преодоление последствий радиационных ава-

рий на период до 2010 года» и «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года». В числе значимых публикаций, осуществленных с деятельным участием и силами ИБРАЭ РАН, необходимо упомянуть сборник научных трудов «Социально-экономические последствия чернобыльской аварии на примере Брянской области» (2006 г.), материалы международной специализированной выставки «Чернобыль: экология, человек, здоровье» (2006 г.), монографию «Анализ потребностей населения в информации о чернобыльской аварии» (2006 г.) и целый ряд других работ.



Публикации ИБРАЭ РАН по вопросам преодоления последствий чернобыльской аварии



Отделение информационного обеспечения программ в сфере ЯРБ, слева направо, сидят: А. В. Митрикова, О. А. Богданова, С. Е. Арефинкина, Г. В. Курина, А. Н. Ободинский, И. Э. Соколова, Е. В. Самодурова, стоят: Е. В. Игнатюк, И. Л. Абалкина, А. М. Федьков, А. А. Федьков, В. В. Дроздов, И. В. Юферов, Н. Г. Бобров, Е. Г. Мамчиц, Г. В. Чупрова, А. С. Иорданов, Д. С. Эминов



Отдел анализа рисков, сидят: В. Л. Ключихин, О. М. Татаринская, В. И. Дорогов, Н. С. Цебаковская; стоят: Ю. Е. Ванеев, Д. В. Крючков, В. А. Казаков, И. А. Мезенцев, Е. Ю. Соловьев, Д. В. Бирюков



Технологическая платформа «Комплексная безопасность промышленности и энергетики»



Пономарев Владимир Николаевич
доктор физико-математических наук,
заместитель директора ИБРАЭ РАН
по стратегическому развитию и инновациям

Ключевое значение для успешного решения стратегических проблем, стоящих перед Россией в XXI веке, имеет преодоление технологического отставания от мирового уровня в сфере промышленного производства, и необходимым шагом в данном направлении станет переход российской экономики на инновационный путь развития. Важнейшей предпосылкой такого перехода является создание эффективных инструментов трансформации инновационных научных идей в рыночно востребованные передовые технологии, новые виды продуктов, товаров и услуг.

В соответствии с общемировой тенденцией подобные задачи решаются в рамках так называемых технологических платформ (ТП), которые представляют собой структуры, обеспечивающие координацию усилий организаций-участников ТП по созданию перспективных коммерческих технологий, по привлечению ресурсов для проведения научно-исследовательских работ на основе механизмов государственно-частного партнерства, по совершенствованию нормативно-правовой базы в области инновационного развития. Начиная с 2011 г. в Российской Федерации сформированы 34 ТП, действующие в наиболее приоритетных сферах экономики.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА «КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ» (ТП КБПЭ) создана по инициативе ИБРАЭ РАН и НИЦ «Курчатовский институт» и в ответ на поручение Президента РФ В.В.Путина, который предложил использовать опыт создания эффективных систем безопасности в атомной отрасли при разработке мер по

обеспечению надежности и безопасности энергетики и промышленности в целом. 31 июля 2013 г. на заседании президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России ТП «Комплексная безопасность промышленности и энергетики» была утверждена и включена в перечень российских технологических платформ.

СФЕРА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА ТП КБПЭ

ТП КБПЭ представляет собой самоуправляемое сообщество, ставящее целью координацию и концентрацию исследований и разработок, производственно-технологических, финансовых, административных и образовательных ресурсов, направленных на:

- создание инновационных технологий, новых продуктов и услуг, обеспечивающих повышение комплексной безопасности промышленности и энергетики, в первую очередь за счет прогнозирования и предупреждения аварийных и чрезвычайных ситуаций;
- совершенствование системы технического регулирования.

В своей деятельности ТП КБПЭ опирается на опыт работы Европейской технологической платформы индустриальной безопасности (ETPIS), адаптируя этот опыт к российским условиям.

Научными руководителями ТП КБПЭ являются директор НИЦ «Курчатовский институт» член-корреспондент РАН М. В. Ковальчук и директор ИБРАЭ РАН член-корреспондент РАН Л. А. Большов.

Председатель экспертного совета — директор ФГАУ «Научно-учебный центр «Сварка и контроль» при МГТУ им. Н. Э. Баумана, академик РАН Н. П. Алешин.

Председатель правления — заместитель директора ИБРАЭ РАН, действительный государственный советник РФ профессор В. Н. Пономарев.

Совет ТП КБПЭ определяет стратегию ее развития на принципах государственно-частного партнерства (ГЧП), обеспечивает координацию действий с органами власти, государственными корпорациями, ведущими российскими компаниями и бизнес-ассоциациями. В состав Совета вошли представители Минэнерго, Минприроды, МЧС, Ростехнадзора, Минрегионразвития, Минпромторга и ряда других федеральных министерств и ведомств. Подтвердили свое согласие на участие в Совете: глава дирекции ГЧП Государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономиче-

ской деятельности (Внешэкономбанк)» А. В. Баженов, первый заместитель генерального директора Госкорпорации «Росатом» А. М. Локшин, вице-президент ОАО «НК «Роснефть» А. Н. Шишкин, руководитель аппарата Национального объединения строителей И. В. Пономарев, президент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) А. П. Кудрявцев, президент Ассоциации региональных банков депутат Государственной Думы А. Г. Аксаков, президент Российского союза страховщиков И. Ю. Юргенс и другие.

Деятельность ТП охватывает широкий спектр направлений, связанных с обеспечением комплексной безопасности различных отраслей промышленности и энергетики включая технологические (создание систем пожарной безопасности, ядерного, радиоэкологического мониторинга, систем неразрушающего контроля и технической диагностики оборудования), социально-экономические, финансовые, правовые, психологические аспекты обеспечения безопасности. Важную роль здесь играют исследования в сфере информационных технологий и телекоммуникаций, по обеспечению энергетической и транспортной безопасности, а также в области прогнозирования и моделирования природных явлений и их вероятных последствий.

Первоочередной задачей ТП КБПЭ является адаптация механизмов государственно-частного партнерства для решения задач обеспечения комплексной безопасности, а именно:

- налаживание взаимодействия с ведущими корпорациями, госкомпаниями и компаниями с государственным участием в рамках программ инновационного развития с целью поиска коммерческого применения новых технологических решений, с финансированием соответствующих работ из средств федерального и региональных бюджетов;
- использование концессионных соглашений для реализации инвестиционных проектов в области обеспечения жизнедеятельности включая проекты по экологической безопасности;

- содействие формированию отраслевых и региональных фондов взаимного страхования, использующих как отчисления частных компаний, так и средства региональных бюджетов, с целью аккумуляции фи-

нансовых ресурсов как для компенсации ущерба от техногенных аварий и природных катаклизмов, так и для реализации превентивных мер, направленных на снижение рисков возникновения подобных аварий.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ

Результатом и итогом деятельности в рамках ТП КБПЭ должно стать создание ряда ключевых продуктов в сфере обеспечения безопасности промышленности и энергетики. К ним относятся:

Технологические базы:

- Технологии и системы интеллектуальной технической диагностики и неразрушающего контроля промышленного и энергетического оборудования, объектов строительства, систем тепло- и электрообеспечения без вывода их из эксплуатации;
- Инновационные методики диагностирования внутренней структуры материалов с компьютерной визуализацией результатов и вычислительным восстановлением трехмерной внутренней структуры объекта, основанные на разработке новых физических принципов взаимодействия различных энергетических полей.

Технологии и системы управления комплексной безопасностью:

- мониторинга состояния и уровня безопасности сложных технических систем;
- технической и расчетно-аналитической поддержки управления и принятия решений в реальном или квазиреальном масштабе времени, а также предупреждения аварийных и чрезвычайных ситуаций;
- численного моделирования сложных технических систем и оценки социально-экономических по-

следствий аварий на объектах промышленности и энергетики;

- контроля и противоаварийного управления на всех этапах жизненного цикла объектов промышленности и энергетики в реальном масштабе времени;
- анализа и управления рисками.

Нормативные правовые акты, регламентирующие техническое регулирование и меры по ликвидации аварийных ситуаций.

Методики оценки состояния безопасности промышленных объектов и объектов энергетики и рекомендации владельцам, страховым компаниям и государству по ее повышению (кросс-отраслевой технологический консалтинг).

Образовательные программы.

В настоящее время подтвердили свое согласие на участие в ТП КБПЭ около 200 организаций включая ведущие отраслевые и академические научно-исследовательские институты, высшие учебные заведения, государственные корпорации, проектные организации, опытно-конструкторские бюро, инжиниринговые, производственные и сервисные компании, финансово-кредитные организации, страховые компании, маркетинговые и сбытовые организации, общественные организации и объединения, государственные органы и другие организации.

Корпуса строящегося Дальневосточного федерального университета на о. Русский, 01 ноября 2010 г.





Международное сотрудничество



Шпинькова Лариса Геннадьевна
кандидат физико-математических наук,
начальник отдела международных
научно-технических проектов

Четвертьвековая история Института отмечена плодотворным научным сотрудничеством с такими международными организациями, как МАГАТЭ, Международное агентство по атомной энергии (IAEA), Агентство по ядерной энергетике Организации экономического сотрудничества и развития (NEA/OECD), Комиссия европейских сообществ (ЕСС), Международный научно-технический центр (ISTC), Всемирная ядерная ассоциация (WNA), Фонд природоохранного партнерства «Северное измерение» (NDEP), Европейский банк реконструкции и развития (EBRD) и многие другие. В качестве высококвалифицированной экспертной организации ИБРАЭ РАН участвует в реализации ряда межправительственных соглашений и международных программ в партнерстве с правительственными и коммерческими институтами США, Германии, Франции, стран Скандинавии и других стран.

ИБРАЭ РАН осуществляет международное сотрудничество по следующим научным направлениям:

- анализ безопасности РУ включая реакторы нового поколения на быстрых нейтронах;
- обращение с радиоактивными материалами и отходами;
- экологическая безопасность;

СОТРУДНИЧЕСТВО В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

С самого начала международной деятельности Института разработка моделей и кодов для анализа безопасности АЭС стала основной областью сотрудничества с такими организациями, как Министерство энергетики США и национальные лаборатории США (Аргонская, Айдахо, Сандия, Брукхейвенская, Лоуренс-Берклиевская), Комиссия по ядерному регулированию США, Институт радиационной защиты и ядерной безопасности (Франция), Технологический институт Карлсруэ (Германия), Институт Пола Шеррера (Швейцария).

Важным направлением работы в данной сфере было и остается участие Института в совместных с зарубежными партнерами исследовательских проектах, посвященных изучению различных вопросов обеспечения безопасности АЭС. Наиболее значимыми из этих проектов являются:

- проект RASPLAV-MASKA, организованный NEA/OECD;
- проект ISTC-PARAMETER (при поддержке Международного научно-технического центра);
- параллельные проекты ERCOSAM-SAMARA (в рамках сотрудничества Росатом — Евroatом);
- международная стандартная задача ICSP MASLWR, проводящаяся под эгидой МАГАТЭ;
- расчетный бенчмарк АТМ1-2, проводимый рабочей группой WGAMA OECD;

СОТРУДНИЧЕСТВО В СФЕРЕ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ

Весомым достижением ИБРАЭ РАН стало участие в разработке и реализации в период 2005—2012 гг. международных проектов по усовершенствованию систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования в Мурманской и Архангельской областях. Эти проекты, выполнявшиеся в рамках инициативы «Гло-

- радиационный мониторинг и аварийное реагирование;
- снижение угрозы радиологического терроризма;
- повышение квалификации специалистов ядерной отрасли;
- разработка нормативных документов в области регулирования атомной деятельности.

- международный расчетно-аналитический бенчмарк BSAF по моделированию протекания тяжелой аварии на энергоблоках 1—3 АЭС «Фукусима Дайичи» (под эгидой NEA/OECD);
- проект NEA/OECD HYMERES, посвященный проблемам обеспечения комплексной безопасности при тяжелых авариях с выходом водорода в контеймент АЭС.

В рамках этих и других проектов проводится верификация и кросс-верификация на экспериментальном материале разработанных в ИБРАЭ РАН физических и расчетных моделей и тяжелоаварийных (СОКРАТ и др.), топливных (SFPR и др.), гидродинамических (CONV) кодов как для реакторов на тепловых нейтронах с водным теплоносителем, так и для перспективных реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем.

Важным направлением международного сотрудничества является обучение и методическая подготовка специалистов зарубежных надзорных органов в странах-импортерах российских атомных технологий (Болгария, Венгрия, Индия, Ирак, Китай, Словакия, Украина, Финляндия и др.). Реализация совместных с Госкорпорацией «Росатом» обучающих программ проводится сотрудниками ИБРАЭ РАН с использованием программно-технической и информационно-методической базы Института, в том числе разработанных в ИБРАЭ РАН компьютерных тренажеров и интегральных расчетных кодов.

бального партнерства» стран «большой восьмерки» и Соглашения «О многосторонней ядерно-экологической программе в Российской Федерации» (MNEPR, Multilateral Nuclear Environmental Program in the Russian Federation), были профинансированы Фондом экологического партнерства «Северное измерение»

(ЭПСИ/NDEP), администратором которого является Европейский банк реконструкции и развития (EBRD). ИБРАЭ РАН осуществлял координацию работ и научно-техническую поддержку проектов, которые получили высокую оценку миссии МАГАТЭ, а созданные в результате их реализации территориальные системы АСКРО и аварийного реагирования были рекомендованы в качестве моделей организации подобных систем в других регионах России.

ИБРАЭ РАН тесно сотрудничает с ведущими международными организациями и научно-техническими центрами в области создания аппаратных и программных средств радиационного мониторинга и аварийного реагирования, в том числе компьютерных расчетных кодов для прогнозирования радиационной обстановки в ближней и дальней зонах ЯРОО и моделирования миграции радионуклидов в атмосфере, водной среде и в условиях городской застройки (НОСТРАДАМУС, НЕПТУН, КАССАНДРА и др.). В частности, с помощью этих программных средств специалистами ТКЦ ИБРАЭ РАН был выполнен оперативный прогноз развития радиационной обстановки и рисков для населения в связи с аварией 11.03.2011 на АЭС «Фукусима Дайчи», переданный японской стороне уже 13.03.2011.

Еще одной сферой международного сотрудничества ИБРАЭ РАН является внедрение образовательных программ по повышению оперативной готовности и обучению сотрудников служб аварийного реагирова-

ния, объектовых и территориальных систем АСКРО, а также подготовка и проведение комплексных учений и тренировок с участием зарубежных партнеров и наблюдателей. Одним из первых подобных учений стали подготовленные в партнерстве с IRSN (Франция) учения «Беккерель-1996»; с 2002 г. крупные международные учения с участием ИБРАЭ РАН проводятся регулярно. В рамках программно-технического обеспечения кризисных центров и в сотрудничестве с Министерством энергетики США (DOE) ИБРАЭ РАН разрабатывает компьютерные тренажеры для обучения персонала центров. Институт совместно с DOE и ГК «Росатом» работал над созданием учебно-тренировочного центра «Аварийное реагирование» в Московском институте повышения квалификации Росатома НОУ МИПК «Атомэнерго» и развитием Аварийно-технического центра Росатома в Санкт-Петербурге.

В последнее время особое внимание международного сообщества уделяется проблеме противодействия угрозам радиологического терроризма. ИБРАЭ РАН в сотрудничестве с DOE и национальными академиями наук (NAS) США принимает активное участие в решении этой проблемы как с точки зрения приведения отечественной нормативно-правовой базы в области радиационной безопасности в соответствие с международными стандартами, так и в плане выработки рекомендаций по снижению угрозы несанкционированного доступа к источникам ионизирующих излучений (ИИИ).



Л. А. Большов в составе делегации 46-й Ежегодной Конференции Японского Атомного Промышленного Форума (JAIF) в здании 3-го блока станции «Фукусима Дайни», 23—26 апреля 2013 г.

СОТРУДНИЧЕСТВО В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОГО ФЛОТА

В рамках данного научного направления ИБРАЭ РАН участвует в подготовке и проведении международных исследовательских экспедиций (проекты IASAP, «Карское море» и ряд других), посвященных изучению радиоэкологической обстановки в Арктическом и Северо-Западном регионах России в районах затопления контейнеров с ТРО затонувших в результате аварий АПЛ, а также играет роль координатора ряда международных проектов по организации радиационного мониторинга в этих регионах.

Важнейшим итогом международных усилий в данной сфере стала разработка и утверждение Стратегического Мастер-плана комплексной утилизации объектов атомного флота и экологически безопасной реабилитации ядерно и радиационно опасных объектов на Северо-Западе России (СМП). Группу разработки СМП возглавил директор ИБРАЭ РАН Л.А.Большов, а общее научное руководство осуществлял советник РАН академик А.А.Саркисов. Новым элементом в разработке таких масштабных программ явилось участие Международного консультанта в лице экспертов компаний Fluor Ltd и BNG PS.

Работа над СМП представляет собой не имеющий аналогов пример крупномасштабного сотрудничества и координации усилий стран-доноров, органов государственной власти РФ федерального и регионального уровней, большого количества министерств,

ведомств и организаций-исполнителей проектов, направленных на решение глобальной задачи — обеспечение полной и безопасной утилизации ядерного наследия холодной войны и экологической реабилитации региона. СМП разработан в рамках Глобального партнерства и Соглашения о МНЕПР при финансовой поддержке Фонда ЭПСИ и при участии Великобритании, Германии, Италии, Норвегии, Швеции, Финляндии и ряда других стран. В настоящее время успешно продолжается реализация проектов и программ СМП при научно-технической поддержке со стороны ИБРАЭ РАН.

Ведущие ученые и специалисты Института принимают активное участие в семинарах и пленарных заседаниях Контактной экспертной группы (КЭГ) МАГАТЭ, деятельность которой посвящена решению актуальных вопросов международного сотрудничества в области радиационной безопасности и радиоэкологии.

Юбилейное 25-е пленарное заседание КЭГ состоялось осенью 2011 г., где обсуждались перспективы международного сотрудничества в обеспечении безопасности Северного Ледовитого и Тихого океанов по завершении в 2012 г. программы Глобального партнерства, и была высказана рекомендация приступить к разработке СМП для Арктического и Дальневосточного регионов России.

СОТРУДНИЧЕСТВО В СФЕРЕ ЭКОЛОГИИ

Одним из наиболее актуальных направлений сотрудничества в сфере экологии является разработка методик безопасного обращения с радиоактивными отходами и их окончательного захоронения. ИБРАЭ РАН проводит фундаментальные и прикладные исследования по развитию математического аппарата и созданию на его основе расчетных кодов, предназначенных для моделирования распространения радионуклидов в различных геологических средах, в том числе неоднородных. Валидация разработанных математических моделей осуществляется путем моделирования результатов международных натурных экспериментов (MADE и др.) и участия в исследовательских программах (ASCEM и др.).

Еще одним важным направлением международного сотрудничества является разработка комплексных программ по ликвидации радиоэкологических и социально-экономических последствий радиационных

аварий. В частности, ИБРАЭ РАН принимал активное участие в реализации проекта «Радиоэкология» в рамках Франко-германской инициативы по оценке последствий чернобыльской аварии.

ИБРАЭ РАН в партнерстве с Госкорпорацией «Росатом» и МЧС России, НАН и МЧС Республики Беларусь является одним из координаторов российско-белорусской программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства, осуществляя информационную и экспертную поддержку ее мероприятий. На технической базе и с участием специалистов Института был создан Российско-белорусский информационный центр.



*Визит китайской делегации в ИБРАЭ РАН,
14 сентября 2009 г.*

ДВУСТОРОННИЕ И МНОГОСТОРОННИЕ СОГЛАШЕНИЯ

Международная деятельность ИБРАЭ РАН осуществляется на основе двусторонних или многосторонних договоров и соглашений о сотрудничестве с различными международными и национальными организациями. Наиболее значимыми среди этих соглашений являются следующие:

Международные соглашения и программы

- Соглашение «О многосторонней ядерно-экологической программе в Российской Федерации» (MNEPR);
- Соглашение между правительством Соединенных Штатов Америки и правительством Российской Федерации «О сотрудничестве в изучении радиационных воздействий с целью минимизации последствий радиационного загрязнения на здоровье населения и окружающую среду»;
- Соглашение между правительством Российской Федерации и правительством Соединенных Штатов Америки о сотрудничестве в области мирного использования атомной энергии («Соглашение 123»);
- Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Итальянской Республики «О сотрудничестве в области утилизации российских атомных подводных лодок, выведенных из состава Военно-морского флота, и безопасности обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом»;
- Седьмая рамочная программа Европейского сообщества по атомной энергии;
- Программа развития Организации Объединенных Наций в Российской Федерации (UNDP);
- Программа сотрудничества в военной области по вопросам окружающей среды в Арктике (AMEC).

ОСНОВНЫЕ ПАРТНЕРЫ И ДВУСТОРОННИЕ СОГЛАШЕНИЯ ИБРАЭ РАН

Министерство энергетики (DOE) США:

- Соглашение между ИБРАЭ РАН и DOE по вопросам координации аварийной готовности и действиям по реагированию;
- Аргоннская национальная лаборатория / Argonne National Laboratory (ANL), США — работы ведутся в рамках Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки в области мирного использования атомной энергии («Соглашение 123»);
- Национальная лаборатория Айдахо / Idaho National Laboratory (INL), США — работы ведутся в рамках Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки в области мирного использования атомной энергии («Соглашение 123»);
- Оак-Риджская национальная лаборатория / Oak Ridge National Laboratory (ORNL), США — работы ведутся в рамках Соглашения между Правительством Российской Федерации и Правительством Соединенных Штатов Америки в области мирного использования атомной энергии («Соглашение 123») и в рамках американской программы ASCEM (Advanced Simulation Capabilities for Environmental Management);
- Брукхейвенская национальная лаборатория — сотрудничество в области снижения угрозы радиологического терроризма и ограничения несанкционированного доступа к источникам ионизирующих излучений;
- Национальная лаборатория Саванна-Ривер и Оак-Риджская национальная лаборатория — совместный проект по исследованиям в рамках программы ASCEM (Advanced Simulation Capabilities for Environmental Management) по проблемам переноса загрязнения в геологических средах.

Комиссия по ядерному регулированию (NRC) США:

- Соглашение между NRC и ИБРАЭ РАН по разработке и применению кодов анализа ядерной безопасности и методов вероятностной оценки риска.

Национальные академии наук (NAS) США:

- Взаимодействие основано на соглашении о сотрудничестве в области научных, инженерных и меди-

цинских исследований. В его рамках проводились совместные работы в области противодействия радиологическому терроризму и нераспространения ядерных технологий и материалов.

Институт радиационной защиты и ядерной безопасности (IRSN) Франции:

- Соглашение между ИБРАЭ РАН и IRSN о сотрудничестве в сфере обеспечения ядерной безопасности и радиационной защиты;
- Соглашение о координации действий между Проектом ERCOSAM и Проектом SAMARA.

Комиссариат по альтернативным источникам и атомной энергии (CEA) Франции:

- Сотрудничество основано на соглашении между Госкорпорацией «Росатом» и CEA о сотрудничестве в области использования атомной энергии в мирных целях;
- Соглашение о координации действий между Проектом ERCOSAM и Проектом SAMARA;
- Соглашение по проекту Агентства по ядерной энергии ОЭСР HYMERES.

Общество по изучению установок и реакторов / Gesellschaft fur Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS), Германия:

- Соглашение о сотрудничестве между GRS и ИБРАЭ РАН в области исследований по вопросам атомной энергетики;
- Соглашение по проекту Агентства по ядерной энергии ОЭСР HYMERES.

Институт Пола Шерпера / Paul Scherrer Institut (PSI), Швейцария:

- Меморандум о взаимопонимании между ИБРАЭ РАН и PSI в области исследований по вопросам атомной энергетики;
- Соглашение о координации действий между Проектом ERCOSAM и Проектом SAMARA;
- Соглашение по проекту Агентства по ядерной энергии ОЭСР HYMERES.

Компания «Группа ядерных исследований» / Nuclear Research & Consultancy Group (NRG), Нидерланды:

- Соглашение о координации действий между Проектом ERCOSAM и Проектом SAMARA.

Технологический институт Карлсруэ / Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Германия:

- Соглашение о сотрудничестве между КИТ и ИБРАЭ РАН в области исследований по вопросам атомной энергетики;
- Соглашение о координации действий между Проектом ERCOSAM и Проектом SAMARA.

Компания «Атомная энергия Канады» ltd / Atomic Energy of Canada Limited, Канада:

- Соглашение о координации действий между Проектом ERCOSAM и Проектом SAMARA;
- Соглашение по проекту Агентства по ядерной энергии ОЭСР HYMERES.

Национальное агентство по радиационной безопасности (Swedish Radiation Safety Authority — SSM), SKB и SKB International, Швеция:

- Соглашение о сотрудничестве между SKB IC и ИБРАЭ в области захоронения радиоактивных отходов.

МЧС Республики Беларусь:

- Сотрудничество основано на программе совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства.



Очередное заседание российско-американской рабочей группы экспертов по реагированию на чрезвычайные ситуации ядерного и радиологического характера, 4—16 июля 2009 г., Ангарск, Иркутская обл.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ; РАСЧЕТНЫЙ КОД СОКРАТ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

BWR	— «кипящий» водо-водяной реактор
PWR	— реактор с водой под давлением
АЗ	— активная зона реактора
АЭС	— атомная электростанция
БН	— реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем
ВВЭР	— водо-водяной энергетический реактор
ВКУ	— внутрикорпусные устройства
ЖРО	— жидкие радиоактивные отходы
ЗО	— защитная оболочка АЭС
КИА	— контрольно-измерительная аппаратура
КМ	— конструкционные материалы
НДС	— напряженно-деформированное состояние защитной оболочки
НКР	— напорная камера реактора
ОЯТ	— отработавшее ядерное топливо
ПГ	— парогенератор
ПД	— продукты деления
РАО	— радиоактивные отходы
РК	— расчетный код
РУ	— реакторная установка
СВБР	— реактор на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем
ТО	— токсичные отходы
ТРО	— твердые радиоактивные отходы
УЛР	— устройства локализации расплава АЗ
ЯРОО	— ядерно и радиационно опасный объект

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММА «ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ПЕРИОД 2010—2015 ГОДОВ И НА ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2020 ГОДА»

ФЦП	— Федеральная целевая программа
ЯТЦ	— ядерный топливный цикл
БВО	— блок выемного отражателя
РО АЗ	— рабочие органы аварийной защиты
РО АР	— рабочие органы автоматического регулирования
РО АР	— рабочие органы компенсации реактивности
ТВС ПЗ	— тепловыделяющая сборка периферийной подзоны
ТВС ЦЗ	— тепловыделяющая сборка центральной подзоны
УПОС	— устройства, реализующие пассивную обратную связь реактивности реактора с расходом теплоносителя

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА И АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ

АСКРО	— автоматизированная система контроля радиационной обстановки
ЦСОИ	— центр сбора и обработки информации АСКРО
РТ	— радиологический терроризм
БОП	— блок обработки и передачи данных

- ГИС — геоинформационная система (GIS)
КЦ — кризисный центр
СКЦ — Ситуационно-кризисный центр Госкорпорации «Росатом»
НЦУКС — Национальный центр управления кризисными ситуациями МЧС России
ПРЛ — передвижная радиометрическая лаборатория
ЧС — чрезвычайная ситуация
ПО — программное обеспечение
РСЧС — Российская единая система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций
ОПАС — группа оказания экстренной помощи атомным станциям
ЦМП — Центр мониторинга и прогнозирования
ИАЦ — Информационно-аналитический центр
ЕГАСКРО — Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки на территории РФ

ЯДЕРНАЯ, РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ АТОМНОГО ФЛОТА И МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- АПЛ — атомная подводная лодка
АСММ — атомная станция малой мощности
АТО — судно атомного технологического обслуживания
ЖМТ — жидкометаллический теплоноситель
ИСУП — информационная система управления программой
НРБ — нормы радиационной безопасности
ПАТЭС — плавучая атомная теплоэлектростанция
ПВХ — пункт временного хранения ОЯТ и РАО
ПДХ — пункт долговременного хранения ОЯТ и РАО
ПКУ — Программа комплексной утилизации
ПТБ — плавучая техническая база
СМП — Стратегический Мастер-план
ЯЭУ — ядерная энергетическая установка

ЭКОЛОГИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

- ГХК — горно-химический комбинат
ВАО — высокоактивные отходы
НАО — низкоактивные отходы
ПУГР — промышленный уран-графитовый реактор
ПХРАО — постоянное хранилище радиоактивных отходов
РБИЦ — Российско-белорусский информационный центр
САО — среднеактивные отходы
СИЧ — счетчик излучений человека
ТКВ — Теченский каскад водоемов
ЧАЭС — Чернобыльская АЭС

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

- ГП — Глобальное партнерство
ЕББР — Европейский банк реконструкции и развития
КЭГ — Контактная экспертная группа МАГАТЭ
МНТЦ — Международный научно-технический центр
ОЭСР — Организация экономического сотрудничества и развития
ППСИ — Природоохранное партнерство «Северное измерение»
МНЭПР — Многосторонняя ядерно-экологическая программа в Российской Федерации (MNEPR)

ТЕРМИНЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

ab initio	решение задачи из первых основополагающих принципов без привлечения дополнительных эмпирических предположений
CFD-код	компьютерная программа, реализующая вычислительную гидродинамическую модель турбулентности
DNS	гидродинамическая модель турбулентности; прямое численное моделирование (Direct Numerical Simulation)
LES	гидродинамическая модель турбулентности; модель крупных вихрей (Large Eddy Simulation)
RANS	гидродинамическая модель турбулентности; модель напряжений Рейнольдса
адвекция	перемещение потока жидкости или газа в горизонтальном направлении без перемешивания
активность	ожидаемое число ядер радионуклида, претерпевших спонтанные ядерные превращения в единицу времени. Единица измерения: Беккерель (Бк); 1 Бк = 1 распад/с
блок детектирования (дозиметр)	измерительный прибор на основе детектора излучения, обеспечивающий визуальное и/или электронное отображение данных измерения
бэр	биологический эквивалент рентгена — внесистемная единица поглощенной дозы излучения; 1 бэр соответствует поглощению 1 Р
диапазон измерения	диапазон значений МАЭД, в котором рабочие характеристики измерителя (дозиметра) удовлетворяют установленным требованиям
зиверт (Зв)	единица эквивалентной и эффективной эквивалентной доз в системе СИ. 1 Зв соответствует величине поглощенной дозы излучения, при которой в 1 кг вещества выделяется энергия в 1 Дж. Для гамма-излучения $1 \text{ Зв} \approx 115 \text{ Р}$
контейнмент	защитная оболочка АЭС
кориум	ядерное топливо
кюри (Ки)	внесистемная единица измерения активности радионуклидов; $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
ликвидус	на фазовых диаграммах линия полного плавления твердых фаз
МАЭД	мощность амбиентной эквивалентной дозы гамма-излучения. Единица измерения: Зв/ч
МОКС	перспективное ядерное топливо, представляющее собой смесь оксидов урана и плутония, которое предполагается использовать в легководных энергетических реакторах (PWR и BWR)
мультифизичный	подход, основанный на решении системы сопряженных (взаимосвязанных) задач
НПИ	нижний порог измерения дозиметрического прибора — наименьшее значение физической величины, которое может быть с заданной погрешностью
основная погрешность	максимальное отклонение показаний измерительного прибора от эталонного значения измеряемой величины в стандартных условиях калибровки.
перколяция	процесс фильтрации жидкостей через пористую среду
спринклерная система	устройства разбрызгивания воды, входящие в систему экстренного охлаждения реактора и обеспечения пожаробезопасности машинного зала АЭС
стратификация	расслоение в потоке жидкости или газа
твэл	тепловыделяющий элемент; основной конструктивный элемент активной зоны ядерного реактора, содержащий ядерное топливо
терафлопсный	суперкомпьютер со скоростью вычислений более 1 триллиона (10^{12}) операций с плавающей точкой в секунду
чувствительность к эталонному излучению	характеристика дозиметра, отображающая его способность реагировать на изменения плотности потока излучения
эксафлопсный	суперкомпьютер со скоростью вычислений более 1 квинтиллиона (10^{18}) операций с плавающей точкой в секунду