

атомная СТРАТЕГИЯ

www.proatom.ru

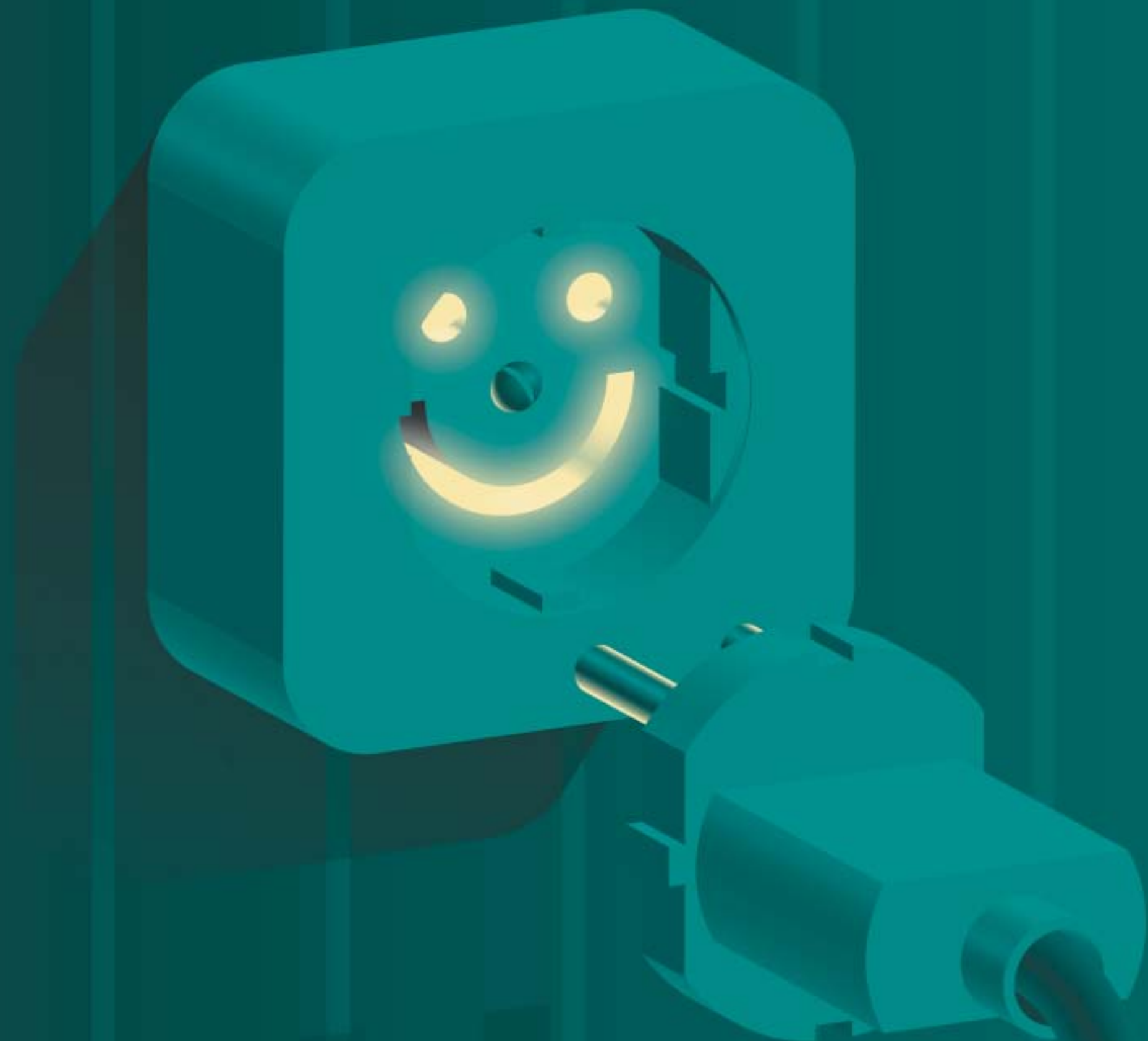
МАРТ 2007



#03(29)

ГЛАВНАЯ ТЕМА НОМЕРА:

ТЕХНИКА БЕЗ ОПАСНОСТИ



Содержание

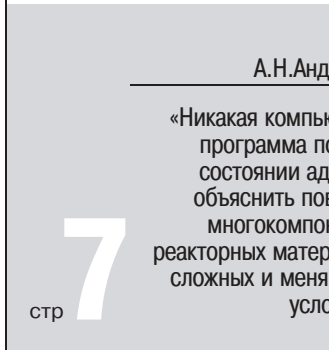
Безопасны планы, уходящие в бесконечность. Л.Н.Селивановская	3
Не всякий барьер гарантирует безопасность. С.В.Неудахин	4
Ода подводникам. Т.А.Девятова	5
Безопасные инновационные реакторы даст только наука. Б.Г.Гордон	6
Компьютерный эксперимент не заменит «горячую» камеру. А.Н.Андреанов	7
Устраняем коррозионные трещины в сварных соединениях трубопроводов РБМК. А.А.Блюмин, Г.П.Карзов	8
Продление срока эксплуатации энергоблоков не снижает их надежности. Н.Т.Чоботко	9
Ожидания от проекта «АЭС-2006». А.А.Просвирнов, В.Н.Нуждин	10
Лучевые болезни поражают не только атомщиков. С.Н.Демин, Т.Н.Таиров	12
Поговорим профессионально. А.Н.Ирецкий	13
Нелёгкий выбор. В.И.Костин	14
Антитеррористическое топливо для АЭС. Е.И.Гришанин	15
Зачем останавливать блок из-за полета мухи? Ю.И.Слепоконь	16
Концептуальные задачи организации мониторинга по сейсмическому и геодинамическому контролю стабильности природной среды в районах размещения атомных станций. А.А.Лопанчук, Б.В.Хилков	17
Вековые циклы сейсмичности Земли и сейсмическая безопасность атомных станций. Ю.А.Рогожин, И.П.Шестопалов	18
Евростандарт для ЛАЭС-2. В.В.Безлепкин	19
Давайте думать, давайте считать! А.В.Бычков	21
Нужен не подвиг, а «Советчик» оператора. Ю.Н.Мясников	23
На лодке видно «who is who». В.Е.Яновский	24
Продуть тупиковые зоны. А.Я.Благовещенский	25
Нам о нас такое пишут. М.Ю.Ватагин	28
Туристический клуб «ВОДИНОЙ». В.Чорномаз, И.Щербаков	29
АЭС только для богатых. В.А.Чупров	30
Не рождественский подарок... В.М.Мурогов	31
Центрифужных дел Мастер. Ю.В.Вербин	32
«Кошка Шредингера» Иммануила Канта. Д.А.Тайц	34
Для чего? А.И.Апальков	35



С.В.Неудахин:

«...Безопасное состояние объекта можно рассматривать как состояние неустойчивого равновесия между социотехнической системой и окружающей средой»

4
стр



А.Н.Андреанов:

«Никакая компьютерная программа пока не в состоянии адекватно объяснить поведение многокомпонентных реакторных материалов в сложных и меняющихся условиях...»

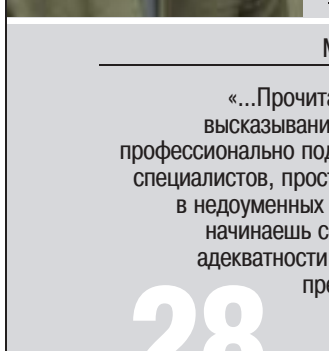
7
стр



В.И.Костин:

«Широкомасштабное развитие атомной энергетики наиболее полно отвечает и модели построения в России инновационной экономики. Какими путями и средствами можно достичь поставленных целей?»

14
стр



М.Ю.Ватагин:

«...Прочитав отдельные высказывания со стороны профессионально подготовленных специалистов, просто теряешься в недоуменных догадках или начинаешь сомневаться в адекватности собственных представлений»

28
стр



«Рекомендуем каждому принять участие в водном походе. Вода ни кого не оставит равнодушным. Не знаете с чего начать, куда и с кем пойти? Приезжайте к нам»

29
стр



Нужно ли нам развивать атомную энергетику? Что думают Зеленые и здравомыслящие специалисты?

30
стр



О.В.Двойников,
главный редактор

Игрушки детям, а атом – профессионалам

Моему внуку два с половиной года, но он большой мастер в части изучения старых факсов, компьютеров и прочих приборов. Эта техника уже закончила свою офисную жизнь, но ее надежность сомнений не вызывала, и я спокойно относился к его экспериментам. До поры до времени... Однажды он, как обычно, включил безопасную вилку провода старого факса в безопасную розетку. Чудо техники, глухо урча, заглохило лист бумаги. Инженерная мысль маленького исследователя требовала углубления эксперимента. При включенной в розетку вилке он выдернул штекер на другом конце провода из разъема на корпусе факса и попытался опробовать штекер на вкус. Я среагировал быстрее, чем произошло короткое замыкание у него во рту.

Оказалось, что провод факса допускал поражение, или, говоря научным языком, его исполнение не обеспечивало состояния защищенности от внешних и внутренних угроз объектов безопасности, к которым отнесена и личность.

Из этого простого примера можно еще раз сделать выводы, которые давно известны специалистам-атомщикам.

Первый – все заявления об абсолютной безопасности техники – вранье. Любая техника и технологии несут в себе элементы опасности, а все опасные технологии должны проходить общественную экспертизу. Атомная энергетика – это современная, но опасная технология, и развиваться она должна под контролем общества.

Второй – в основе большинства аварий человеческий фактор. Человек даже в самой безопасной технике найдет изъяны и обязательно использует их для создания аварийной ситуации. Неспециалист сделает это быстрее.

Третий вывод уточняет первый – мерой безопасности должна быть разумная достаточность. Этот вывод можно иллюстрировать примерами. Служить в армии и защищать Отечество почетно, важно и необходимо. Но небезопасно. Наверное, поэтому в армии служат в основном дети бедных, тех, кто считают допустимой для себя меру армейской безопасности. Элита общества опасность, видимо, чувствует острее, и потому ее дети вооружены справками, бронями и прочими защитными барьерами.

Или взять строительство АЭС в Тяньване. На вопрос «Требования заказчика на Тяньвань-1 – 100%. А на Калинин-3?» наши коллеги на сайте www.proatom.ru дружно ответили – меньше 70%. Китайцы по-своему ощущают приоритет безопасности, они не считают приемлемым наличие большого количества нарушений, требуют их устранения и скрупулезно производят приемку блоков. Ну, а наш третий Калининский блок в спешке был пущен в эксплуатацию и с большой помпой представлен Президенту (хотелось бы для истории знать, сколько нарушено было при пуске технических регламентов, ТУ и прочих требований). Видимо, факт проведения заседания Государственного Совета на Калининской АЭС в отсутствие других положительных эмоций в атомной отрасли был важнее безопасности. И неважно, что через несколько дней после пуска «больной» блок вновь вынуждены были остановить. Бывших министра, директора и главного инженера Калининской АЭС вполне устраивала та мера безопасности блока, которая портит сегодня экономические показатели всей станции и наверняка отрицательно влияет на безопасность. Сегодня этих руководителей на станции нет. Зато остался осадок, ощущение того, что безопасности противопоставлен принцип: «Чего изволите?».

Четвертый вывод – каждый занимается своим делом, не перекадывая ответственность на других. Детям – игрушки, а профессионалам – атомная энергия. И уж, конечно, хотелось бы, чтобы профессионалами были первые руководители отрасли. Особое значение это будет иметь в аварийной ситуации, когда слово первого руководителя будет решающим. Четвертый вывод – это аксиома. Он логически связан со вторым и должен исполняться как военный приказ. И Чернобыль служит тому примером.

Пятый вывод – закрытость увеличивает опасность. Мне удалось предотвратить опасную ситуацию с внуком только потому, что я сам был участником его игр. Моего внука можно убедить. Если бы я заранее рассказал ему об опасности, исходящей из розетки, возможно, этого случая не произошло бы.

На наш вопрос на сайте www.proatom.ru «Вы получаете исчерпывающую информацию о событиях в отрасли?» не было ни одного положительного ответа. В условиях, когда задавлена любая критика, отсутствует открытое обсуждение проблем, люди боятся говорить и даже в обсуждениях чисто технических проблем на сайте боятся ставить подпись. Наш вопрос «Нужна ли команде Кириенко конструктивная критика?» 75% респондентов ответили отрицательно. Без открытой, честной и уважительной дискуссии между специалистами трудно ожидать креативных решений. Специалисты, и уж тем более руководители предприятий, – это не статисты в колонтаявских играх. Только их сопричастность к проблемам атомной отрасли способна стать стимулом, который объединит атомщиков и создаст созидательный настрой.

Глобальные проекты нынешних руководителей – это, конечно, хорошо, но сегодня важнее наметить реальные шаги на ближайшие 3–5 лет. Нужно пройти эти шаги и конкретно отчитаться за результаты. Нью-Васюками, обещаниями светлого будущего все сыты по горло.

Социальная приемлемость рисков – это обязательное условие бизнеса. Понимая это, руководитель концерна «AREVA» мадам Ловержон, например, развернула масштабную PR-кампанию в защиту атомной энергетики. Девизом кампании стал слоган: «Нам нечего скрывать». Ловержон старалась сделать атомную отрасль максимально открытой, чтобы она вызвала у людей не страх, а гордость. Анн Ловержон сделала французов своими единомышленниками.

Наверное, чтобы делать подобные выводы нам чаще нужно общаться с внуками. В конце концов, им принадлежит будущее, и от нас зависит, насколько безопасным оно будет.



Главная тема номера – «Техника без опасности»



3 (29), март 2007 г.
Основан в Санкт-Петербурге в марте 2002 г.
Учредитель и Издатель ЗАО «ОВИЗО»

Свидетельство о регистрации журнала «Атомная стратегия»: № ПИ 2-6494 от 21.03.2003 в Северо-Западном окружном межрегиональном территориальном управлении Министерства Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (г.Санкт-Петербург)

Редакционный совет:
Язев В.А. – председатель комитета ГД по энергетике, транспорту и связи; Опекунов В.С. – председатель подкомитета по атомной энергии Комитета ГД по энергетике, транспорту и связи; Иванов В.Б. – член комитета ГД по энергетике, транспорту и связи.

Главный редактор – Олег Двойников.
Зам. гл. редактора – Надежда Королева.
Редактор – Тамара Девятова.
Дизайн – Владимир Мочалов.
Верстка – Андрей Голубков.
Набор, корректура – Наталья Богачева.

Почтовый адрес: 196070, Санкт-Петербург, а/я 127, ЗАО «ОВИЗО»
Тел./факс: (812) 717-9194, 380-5003, 380-5004, 717-7782, 958-9004.
E-mail: most@infopro.spb.su; info@proatom.ru; www.proatom.ru

Подписано в печать 27.03.2007 г.
Тираж 3 000 экз.
За содержание публикуемых в журнале информационных и рекламных материалов ответственность несут авторы.

Редакция предоставляет возможность высказаться по существу, однако имеет свое представление о проблемах, которое не всегда совпадает с мнением авторов.

Редакция рукописи не возвращает и оставляет за собой право редактирования информационных материалов.

Распространение: почтовая рассылка специалистам предприятий и организаций атомной отрасли, политикам, руководителям крупнейших предприятий и организаций энергетики, участникам выставок и конференций, подписчикам и рекламодателям.

Редакция благодарна авторам статей и рекламодателям за поддержку журнала «Атомная стратегия».

Все дизайн-разработки изготовлены в дизайн-студии «ОВИЗО» и не подлежат воспроизведению без письменного разрешения редакции журнала «Атомная стратегия».

При перепечатке ссылка на журнал «Атомная стратегия» и предприятие «ОВИЗО» обязательна. Журнал «Атомная стратегия» выходит с периодичностью 12 раз в год. Ближайшие выпуски журнала будут посвящены темам: «Оборудование для АЭС», «Ядерная медицина», «Атомное машиностроение», «Материаловедение», «Искусство радиохимии».

Отдел рекламы: Татьяна Григорашенко, тел. (812) 717-9194, 717-7782; e-mail: pr@proatom.ru. Стоимость подписки на один экземпляр с рассылкой в пределах России составляет 480 рублей.

Безопасны планы, уходящие в бесконечность



Л.Н.Селивановская,
редактор сайта www.proatom.ru

Несмотря на экономический бум, в России падают самолеты, взрываются шахты, горят богачи и стрип-клубы. Значит пора объявлять старт очередного национального проекта «Техника без опасности», или так: «Народ против опасной техники». А пока этого нет, может быть, и неплохо, что сроки воплощения планов Кириенко&Ко смещаются в сторону горизонта, так сказать, боковой тренд в бесконечность. Любопытно, что прошлогодние «апрельские тезисы» С.Кириенко повторил почти слово в слово вновь испеченный первый вице-премьер С.Иванов на расширенной коллегии Росатома. Это что — пиар перешел на следующий уровень?

Конкурс амбиций продолжается

Практически все первоначально озвученные даты поэтапной реализации крупных росатомовских проектов уже недействительны. В феврале прошлого года было заявлено о намерении создать вертикально интегрированный «Атомпром». Спустя год его конфигурация так и не определена.

14 февраля Артем Бутов, гендиректор ИСК «Росатомстрой» сказал:

— Мы пока единственные, кто в состоянии выполнять функции генпродюсера и комплексно решать вопросы строительства АЭС. Но в перспективе, думаю, будут созданы еще три-четыре таких компании. Планы такие у Росатома есть. Они могут формироваться на базе атомных проектных институтов, например. Но, насколько мне известно, концепция создания таких компаний еще дорабатывается... (Интерфакс)

И закон соответствующий уже принят, и цели поставлены, и задачи определены. Как там дальше, какется: «за работу, господа!». И этот призыв был услышан даже за западной границей:

16 февраля. В ближайшие 4–5 лет Белоруссия будет иметь свою атомную станцию, заявил в пятницу в Минске белорусский премьер-министр Сергей Сидорский... Белоруссия планирует ввести в эксплуатацию 1-й блок атомной электростанции в 2014 году, в 2016 – 2-й блок, эти сроки приблизительно на 1 год опережают ранее запланированные. (Интерфакс-Беларусь)

Похоже, долгожданный туннельный закон больше всего был нужен «спутникам» урана. «Техснабэкспорт», например, активно включился в процесс и начал распределять урановые месторождения между частными инвесторами. Среди его потенциальных партнеров обнаружены: «Полюс Золото», «Ренова», «Базэл», небольшая артель «Золото Селигдара» и даже металлургический магнат Василий Анисимов. О деталях возможного сотрудничества переговорщики распространяются неохотно. Предполагается, что продавать уран будет акционер СП со стороны государства, а частный инвестор будет получать долю в прибыли от его реализации. Не исключается такой интерес частных инвесторов, как право продажи сопутствующих полезных ископаемых, в частности, золота.

А вот корпорация «ТВЭЛ» споткнулась о неожиданное препятствие: топливо, предназначенное первой иранской АЭС, так и осталось на складах:

20 февраля Тегеран обвинил Москву в попытке отложить запуск АЭС... Так он отреагировал на претензии со стороны российских атомщиков. Они заявили, что иранская сторона не платит вовремя деньги, и поэтому сроки поставки топлива на АЭС в Бушере могут быть сдвинуты. («Эхо Москвы»)

Впрочем, перипетии вокруг АЭС «Бушер» — бесспорно основная тема месяца.

Перс сделал свое дело?

Россия обвиняет Иран в срыве платежей по проекту, Иран Россию — в бесконечном и постоянном удорожании первоначальной сметы. Глава Росатома С.Кириенко заявил, что срок ввода станции в эксплуатацию будет в очередной раз перенесен.

22 февраля. Иран готов урегулировать за 10 дней все разногласия с «Атомстройэкспортом» относительно АЭС «Бушер». Об этом сегодня заявил заместитель главы Организации

по атомной энергии Исламской Республики Мохаммад Саиди. (ПРАЙМ-ТАСС)

Сообщения об очередной задержке с пуском первого энергоблока Бушерской АЭС вызывают ряд вопросов, и не все из них лежат в области экономики. Известно, что условия контрактов, подписанных российскими и иранскими атомщиками, не предусматривают в подобных случаях переноса сроков выполнения работ. «Спор хозяйствующих субъектов» очень кстати случился накануне очередной серии обсуждения иранского «ядерного досье» в СУ МАГАТЭ и СБ ООН. Россия поворачивается спиной к несговорчивым иранцам и согласовывает жесткую резолюцию:

25 февраля. Иран готов к любому развитию ситуации вокруг своей ядерной программы, «даже к войне», и никакие действия ООН не остановят его, заявил в воскресенье заместитель министра иностранных дел Ирана Манучехр Мохаммади. (РИА Новости)

Что может последовать за таким заявлением? Международное давление на Иран усиливается настолько, что приводит к смене лидера. Новый президент ИРИ занимает более гибкую позицию, вследствие чего получает технологическую помощь Запада. АЭС «Бушер» достраивает, к примеру, «Евроатом», США идут на сближение с Ираном. А Россия оказывается врагом №1 исламского атома или, как минимум, крайне ненадежным партнером. Российский бизнес теряет позиции в арабском мире. Вполне вероятный сценарий.

Впрочем, нет худа без добра, положительная роль отсрочки ввода АЭС «Бушер» для безопасности в регионе пока явно недооценена. Но она очевидна для непосредственных участников этого проекта:

Почитать контракт АСЭ по объему АСУТП удосужились только 1 год назад. Вот удивление было, когда оказалось, что объема только на уровне защит, блокировок и действий оператора не просто недостаточно, а аварийно опасно. Такую станцию пустить невозможно... (Proatom.ru)

Мы за ценой не постоим

Репутация российских строителей атомных объектов за рубежом и до бушерского конфуза была невысока. К российским компаниям — особые требования. Известно ведь в какой стране шурупы молотком забивают. Так, китайское атомное ведомство, требовавшее от России референтности блоков, забыло об этом условии, распределяя заказы на АЭС в южных провинциях. В итоге Вестингауз получил подряд на четыре энергоблока AP-1000 по результатам тендера. AREVA же будет строить два EPR-1600, несмотря на непростую историю аналогичного проекта на Олкилуото-3. Можно предположить, что и смета строительства будет вполне полновесной, и персонал будет там получать жалованье в срок. В то время как наши специалисты получают заработанное с двух-трех месячным опозданием. При этом покладисто устраняют все подмеченные дотошным заказчиком недочеты. А в качестве морального поощрения — обещание использовать российские технологии при строительстве второй очереди Тяньваньской АЭС.

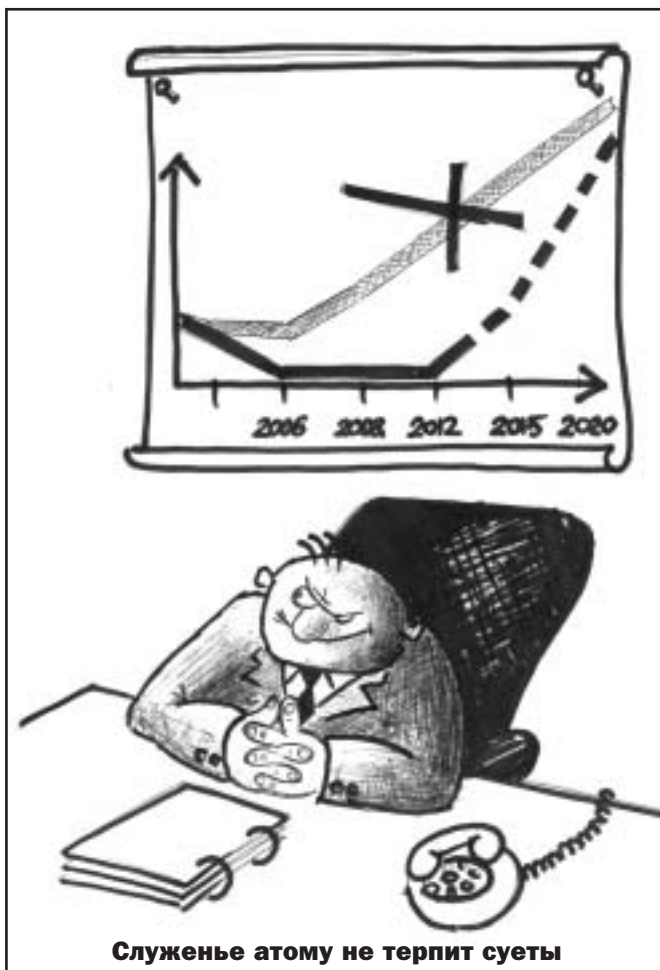
Чтобы хоть как-то вписаться в мировой ядерный бизнес и в соответствии с пожеланиями президента двигать за рубеж высокие технологии, Росатом будет вынужден пуститься во все тяжкие. Например, взяться за регенерацию японского отработавшего ядерного топлива.

27 февраля. Возможность обогащения урана в России для японских атомных электростанций, а также вопрос заключения межправительственного соглашения о мирном использовании атомной энергии станет одной из тем переговоров между премьер-министром

России Михаилом Фрадковым и его японским коллегой Синдзо Абэ..., прежде всего, речь идет об обогащении урана, который был получен из отработанных топливных стержней атомных реакторов и в настоящее время хранится в Великобритании... (РИА Новости)

Остается надеяться, что до заключения контракта менеджеры поинтересуются мнением специалистов и тщательно проанализируют его плюсы и минусы. Хватит ли полученных иен на отмычку оборудования, лечение персонала и утилизацию РАО?

Практика атомного менеджмента до сих пор не слишком ориентирована на мнение профессионалов. Однако, объективно, сами профессионалы и создали отчасти такую ситуацию. Протекционизм и откровенное лоббирование своих разработок,



Служенье атому не терпит суеты

перетягивание «денежных» НИОКРов на себя стали обычным явлением в последние два десятилетия и явно подвинули абстрактное «в интересах дела». Отсутствие независимой экспертизы базовых решений, закладываемых в основу стратегического планирования, негативно влияет на их конкурентоспособность. Так считает советник руководителя Росатома, первый заместитель гендиректора ОАО «Техснабэкспорт» А.Г.Белова:

1 марта. Беда в том, что даже подготовленные и заявленные доклады очень быстро ложатся на полку бесполезным грузом по причине их невостребованности. К сожалению, ни содержащийся в них анализ, ни сформулированные предложения и идеи также не находят практического применения. (газета «Ведомости»)

Возвращение на европейский рынок оказалось сопряженным с традиционно российскими бедами. Дороги, ведущие к площадке строящейся АЭС «Белене» в Болгарии, находятся в «ужасном состоянии», но региональные власти отказываются заниматься их ремонтом. Но главное — денег у болгарского заказчика нет, и в этом году вся деятельность будет оплачиваться «Атомстройэкспортом» из собственных средств.

Глухая оборонка

Второй по частоте упоминаний в СМИ за прошедший месяц стала тема размещения элементов системы ПРО США в Чехии и Польше. Оживились генералы — только ленивый не намекнул, что имеет на происки НАТО свой адекватный ответ. Но пока ракеты в шахтах, войну нервов ведут политики. Попробуем оценить, чей адекват адекватнее.

Назначить министром обороны главу федеральной налоговой службы — сильный ход, можно сказать обескураживающий, и может рассматриваться как обманный маневр, заставивший призадуматься зарубежных стратегов: «Что опять придумали эти хитрые русские?». Во всяком случае, спрос за просчеты в организации армии теперь уже будет с другого. Чем ответит противник?

3 марта. Впервые за последние два десятилетия в США будут созданы новые водородные бомбы... Как и в прошлом веке, реализация задачи возложена на Национальные лаборатории в Лос-Аламосе и Сандии, а также на ливерморскую Национальную лабораторию. Заказчиком и организатором работ выступает федеральное Министерство энергетики... (Lenta.ru)

14 марта, открывая заседание Военно-промышленной комиссии, первый вице-премьер С.Иванов прояснил, откуда и в каком количестве предприятия оборонного комплекса страны будут получать средства на свое развитие:

Эти средства на 40% будут обеспечены внебюджетными поступлениями. Очевидно, государство надеется, что развиваться предприятия оборонки должны за счет диверсификации — за счет самих себя... Как утверждает первый вице-премьер, «предприятия должны направлять часть прибыли от военно-технического сотрудничества с иностранными государствами на собственное перевооружение и выполнение гособоронзаказа». («Независимая газета»)

Тем временем британский парламент поддержал предложение премьер-министра Тони Блэра модернизировать ядерные силы сдерживания.

15 марта. На строительство новых подлодок с ракетами «Трайдент» предполагается выделить от тридцати до сорока миллиардов долларов... Предложение Блэра поддержали не только лейбористы, но и оппозиционная партия консерваторов. (радио Свобода)

А что же российский ядерный оборонный комплекс? Военно-техническое сотрудничество с иностранными государствами в этой сфере пока ограничено бдительными режимными службами. Но есть решение:

20 марта. «Мы должны постараться найти заказы для предприятий ядерного оружейного комплекса на предприятиях атомного энергопромышленного комплекса с учетом тех задач и финансирования, которые атомный энергокомплекс получает», — сказал Кириенко. (РИА Новости)

То есть, заработанного на заказах энергетиков с лихвой должно хватить и на новые заряды, и на усовершенствованные судовые реакторы?

В общем, первый приз за адекватность по праву достается маленькой, но гордой чешской деревне Трочавец, жители которой проголосовали против размещения в их районе элементов системы противоракетной обороны США, так как опасаются, что их деревня станет мишенью для ракет.

Пока туманны стратегические цели, и нет надежного контроля за исполнением, планы работают не на развитие, а на освоение выделенных средств. И в интересах безопасности, может быть, не стоит форсировать процесс сооружения энергоблоков. Поспешили отпортить о сдаче третьего блока Калининской АЭС, что привело к провальным для экономики станции результатам. Не об этом ли комментарий наших читателей?

22 марта. На АЭС огромные деньги «разруливаются» руководством верхнего и среднего звена в виде пресловутых «откатов» при выборе поставщиков, заключении договоров и последующими закупками оборудования втридорога. Этот «секрет Полишинеля» выглядит особенно мерзко на фоне призывов к повышению безопасности, усилению экономики, урезанию закупок необходимых приборов и запчастей.

Не радует всё это, совсем не радует. Как и то, что представительские расходы концерна соизмеримы с затратами на ремонт ВСЕХ энергоблоков России. (Proatom.ru)

Не всякий барьер гарантирует безопасность. Философский аспект



С.В.Неудахин,
к.т.н., начальник
кафедры ядерных
реакторов и
парогенераторов ВМШ,
Санкт-Петербург

Существование человека определяется его способностью осуществлять различные виды деятельности с целью удовлетворения своих потребностей безопасным образом для себя и для окружения. Поддерживая и улучшая условия жизни, человек преобразует среду обитания, создавая искусственные технические объекты – «техноценозы» (по Б.И.Кудрину), осуществляя при этом вмешательство в энергетические природные процессы. Неадекватное перераспределение (концентрация) потоков вещества (энергии, информации) может привести к обратному явлению – ухудшению условий жизни или трагедии, то есть к снижению уровня безопасности.

Безопасность представляет собой сложное явление окружающей нас действительности. Несмотря на законодательно закрепленное определение понятия «безопасность», до настоящего времени не сложилось общепринятого определения явления «безопасность». Большинство исследователей едины в том, что безопасность объекта достигается различными видами деятельности. Это нашло отражение в ключевых словах различных определений явления «безопасность»:

- «защита» – действие по значению глагола «защищать»;
- «защищенность» – состояние объекта как результат прошлой деятельности, «определенная» деятельность;
- «условия» – правила, существующие или установленные в том или ином виде деятельности, определяющие нормальную работу чего-либо.

На уровне обыденного сознания понятие «безопасность» определяется как отсутствие опасности, состояние, при котором не угрожает опасность, есть защита от опасности. Субъективность указанного восприятия (понимания) безопасности заключается в том, что опасность выражается в виде оценки сознанием субъекта свойств живой и неживой материи, либо условий проявления этих свойств, как имманентная характеристика наших собственных систем мышления и деятельности. Субъект на основании своих знаний, опыта определяет, что опасно, а что не опасно. Ребенок, незнакомый со свойством электрического тока, готов взяться за голый электрический кабель под напряжением. Его сознание еще не может дать оценку «опасно» (или «безопасно»), он только вступил на «тропу» познания.

Явление «безопасность» принято рассматривать с двух сторон. С одной стороны, безопасным называют явление и (или) состояние чего-либо, не причиняющее ущерба для его окружения. С другой стороны, понятие «безопасность» относят к объекту, защищенному от воздействия факторов, которые могут нарушить его нормальное функционирование (в заданных пределах и условиях). Таким образом, производя оценку «опасно – безопасно» мы соотносим между собой свойства объекта и окружающей среды. При этом из свойств объекта выделяется определенный фактор и соотносится со свойствами окружающей среды, либо наоборот, выбранный фактор или факторы окружающей среды соотносятся со свойствами объекта. Оценка осуществляется с определением:

- возможности объекта причинить ущерб окружающей среде;
- возможности окружающей среды причинить ущерб объекту.

Следовательно, говоря о явлении «безопасность» в целом, можно утверждать, что оно характеризует взаимоотношение существенных свойств объекта и окружающей среды. Если свойства объекта при изменении свойств окружающей среды (или наоборот – свойства окружающей среды при изменении свойств объекта) не изменяются, мы считаем, что объект безопасен. Таким образом, под безопасностью мы понимаем соответствие между существенными свойствами объекта (системы) и окружающей среды. С системных позиций безопасное состояние объекта можно рассматривать как состояние неустойчивого равновесия между социотехнической системой (например, ядерным объектом) и окружающей средой.

Количество вариантов субъективной оценки безопасного состояния объекта можно определить, рассматривая явление «безопасность» как некоторую связь между элементами системы «техническое – окружающая среда». Известно, что количество связей (C) в системе определяется выражением $C = n(n-1)$, где n – количество элементов в системе. Если в системе «техническое – окружающая среда» имеется, например, 2000 элементов, мы имеем около четырех миллионов связей, или порядка четырех миллионов вариантов субъективной оценки безопасного состояния объекта.

Безопасное состояние ядерного объекта

Безопасное состояние ядерного объекта или равновесие между свойствами объекта и среды (гомеостаз по И.А.Рябинину) обеспечивается как за счет управления субъектами и техническими средствами, обеспечивающими требуемое протекание

процесса генерирования и распределения получаемой энергии, так и за счет самоорганизации физических и социальных процессов, сопровождающих работу ядерного объекта.

Состояние безопасности объекта $B(t)$ можно представить в виде функционала:

$$B(t) = F[X(t), Y(\tau), Z(t)]_{V(t)}$$

где: $X(t)$ – множество элементов объекта, входящих в его состав, $Y(\tau)$ – множество характеристик элементов объекта, $Z(t)$ – множество отношений, связей и взаимодействий элементов объекта между собой, $V(t)$ – множество характеристик окружающей среды, влияющих на функционирование объекта, t – астрономическое время, τ – «внутреннее» время элементов, составляющих объект.

Важным является то, что течение процессов в элементах объекта характеризуется своим «внутренним» временем, отличным от астрономического. «Внутреннее» время элементов не подчиняется какому-либо определенному закону, а формируется индивидуально, выступает собственным «физическим» параметром элемента, отражающим частоту происходящих в нем событий. Например, процессы старения, износа и т.п. индивидуальны для каждого элемента. Поэтому в каждый момент астрономического времени каждый элемент по-своему влияет на безопасность объекта. За пределами гарантированной наработки (ресурса) элемента никто не поручится за безопасность объекта.

По сути, система обеспечения безопасности представляет «чисто умопостижимый предмет». Количество элементов, ее составляющих, практически бесконечно, а сами элементы качественно отличаются друг от друга (естественные, искусственные, материальные, виртуальные и т.п.). Границы системы обеспечения безопасности объекта конвенционные, изменчивы. При исследовании и оценке состояния обеспечения безопасности объекта они всегда, в силу ограниченности наших знаний, носят согласительный характер. Каждый исследователь (эксплуатационник, обыватель) определяет их относительно рассматриваемой области деятельности, основываясь на субъективных знаниях и субъективном практическом опыте.

Обеспечение безопасности ядерного объекта

Понятие «обеспечение» рассматривается как один из видов деятельности и как средство деятельности. Как вид деятельности, оно означает совокупность действий, предпринимаемых для того, чтобы сделать нечто вполне возможным, действительным, реально выполнимым, создать все необходимые условия для осуществления чего-либо, гарантировать надежность, прочность чего-либо, а как средство деятельности – то, чем наделяют кого-нибудь или что-нибудь.

«Обеспечение» как средство деятельности представляет собой совокупность материальных и духовных объектов, которые повышают эффективность чьей-либо деятельности по достижению поставленной им цели. Конкретное содержание «обеспечения» определяется предметной сферой обеспечения. Так, деятельность оператора ядерной энергетической установки должна быть обеспечена материальной базой его подготовки, условиями отдыха (проживания), эргономичностью рабочего места и т.д.

«Обеспечение» как явление социальной действительности представляет собой совокупность различных видов деятельности по собственно обеспечению, по получению средств обеспечения и определению субъектов обеспечения. Акт действия, как правило, опирается на результат предыдущей деятельности. Различные виды деятельности по обеспечению чего-то состоят в оказании помощи субъектам в достижении поставленных ими целей.

Понятие жизненный цикл технической системы как методологический принцип определения содержания подготовки по вопросам обеспечения ядерной безопасности

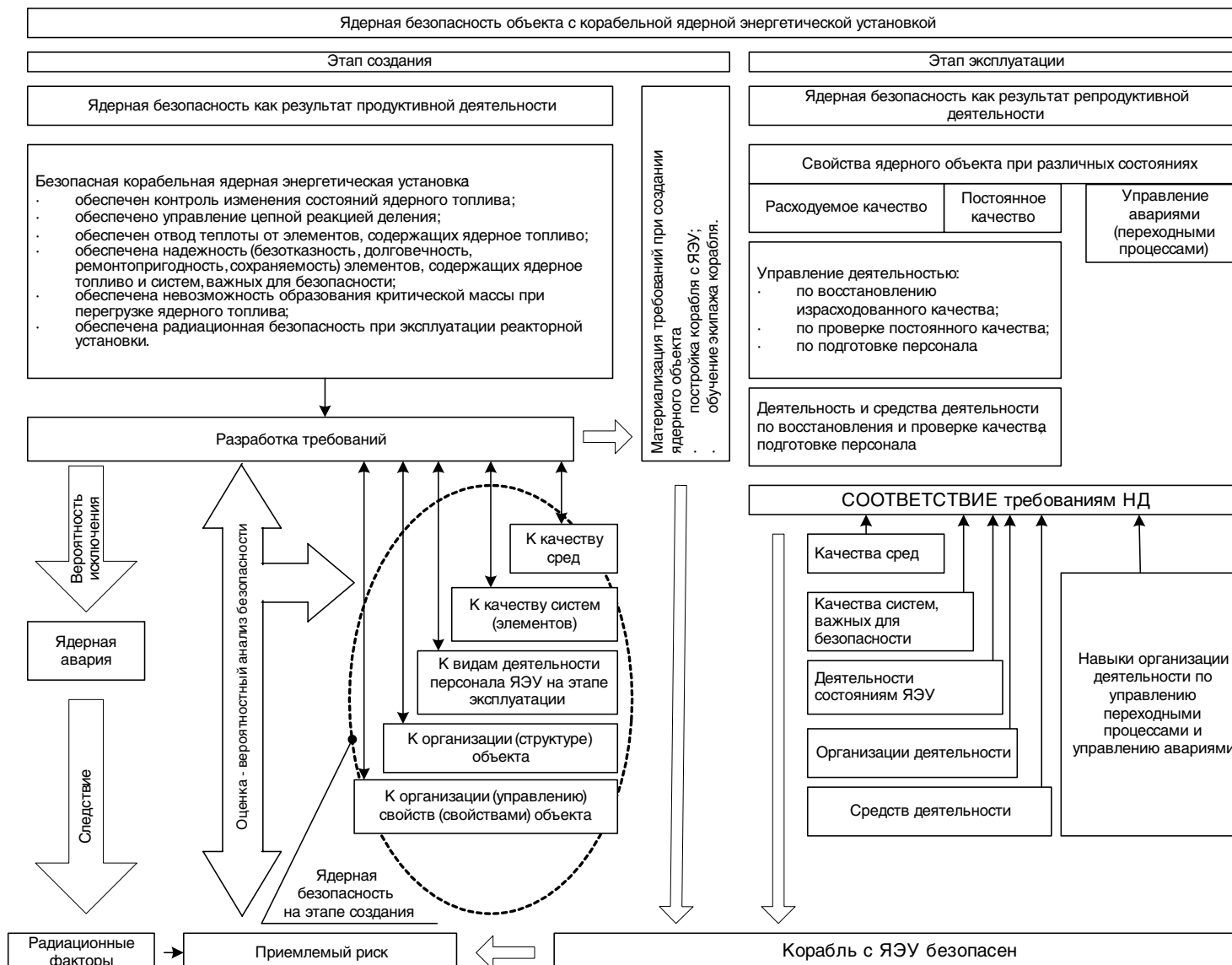


Рис. 1. Методологический принцип определения безопасности ядерного объекта

Ода подводникам

Странные процессы происходят сегодня в России. После двадцати лет российского «Клондайка» (по определению американского русиста Козна Стивена), с первого до последнего момента нелегитимного и восприняемого населением страны как величайшее предательство XX века, перед предстоящей выборной кампанией претенденты на власть вдруг стали государственниками, забыв (на время?) о своих коммерческих интересах. Вспомнили, что такой огромной стране плановая экономика необходима хотя бы в стратегических направлениях, что маячащее на горизонте 30-процентное сокращение населения надо как-то приостановить «национальными проектами», что социализм — вовсе не «темное тоталитарное прошлое», а время, когда страна возродилась и развивалась, ее уважали одни и боялись другие. Когда высшее образование (не говоря уж о всеобщем обязательном среднем) мог получить любой. И не для того, чтобы торговать в ларьке, стыдливо именуемом «бутиком» или «мини-супермаркетом».

Поскольку налоговики подались на оборонную ниву, проблемами налогообложения занялись православные на Всемирном русском народном соборе, предложив плоский 13%-ный налог заменить прогрессивным, увеличив процент налоговых отчислений на роскошь. Для

«нищей» страны, третьей в мире по числу миллиардеров, мера отнюдь не лишняя.

Президент РФ В.В.Путин на «слете» в Мюнхене напугал западных коллег напоминанием о том, что Россия — страна с тысячелетней историей и способна сама выстраивать свою внешнюю и внутреннюю политику без помощи «неправительственных общественных организаций», щедро спонсируемых заинтересованными иностранными державами. А на процедуре присвоения высших воинских званий в Кремле 9 марта 2007 г. и вообще поразил россиян откровением: «Беспрецедентное разворывание богатств страны в начале 1990-х гг. ставило под сомнение саму возможность будущего у России. И только военные противостояли этим процессам». Лукавство, покаяние или возвращение из затянувшейся на десятилетия командировки в дальний космос?

В США — законодатель сегодня российской политической моды, действует закон о патриотизме. Не позаимствовали, не захотели. От самого слова «патриотизм» шарахаются как черт от ладана.

И вот в это выморочное время «потемкинских деревень» судьба (рукою главного редактора) даровала бесценный подарок — возможность познакомиться с людьми, не ведающими самого страшного греха — трусости, — с подводниками, создавшими советский атомный подводный флот, покорившими Мировой океан, поставившими энергию атома на службу обороне страны.

Благодаря их тяжелому труду, лишениям неустроенного быта, потере здоровья и даже жизни, страна сохранила суверенитет, не позволив реализовать планы ее уничтожения еще в 1950-х, развила свою научно-техническую и морскую мощь, став второй мировой державой после тяжелейшей Великой Отечественной войны.

Для этих людей слова: «Честь имею!», «Служу России», — не пустой звук по поводу и без повода. Право на них оплачено жизнями товарищей, собственным здоровьем.

Сегодняшний мир по энергонапряженности, по взаимосвязанности и взаимозависимости «отсеков», превратился в одну большую подлодку, в случае аварии на которой не поможет никакая всплывающая камера. Не только не хватит на всех, всплывать будет некуда.

Возможно, в эпоху дилетантства, когда независимо от постов и профессии, все бросилось в «коммерческие тяжкие», сделал идолом «прибыль», людьми государевыми и государственными только и остались подводники — соль земли, потому что истину: «Выжить можно либо всем вместе, либо никому», они узнали на собственном опыте.

Подводники — это генофонд нации, ее надежда на возрождение былого величия.

«Подводный флот — не работа, не служба и не вид деятельности. Это судьба и религия». В стихотворении «Подводник не профессия, подводник — суть души» Юрий Никандрович Некрасов, капитан 1 ранга, удостоенный за службу

на АПЛ «К-3» ордена Боевого Красного Знамени, напишет:

*Под грозным паком Арктики
На маковку Земли
Подводных Сил романтики
Проводят корабли.*

*Всплывали под Полярную
И шли на Южный крест,
Хранили легендарные
Традиции и честь.*

*Вступали с радиацией
В опасную игру,
Порой вверяли рации
Надежды и судьбу.*

*Мир помнит боль Корчилова
И жертвы «Плавника»,
И «Курск», и всплеск постылого
Прощального венка!*

*Для славных дел и подвигов
В Подплаве место есть!
Господь! Храни подводников,
А Родина — их честь.*

Не утратить бы эту честь. Пока вы есть, у России есть надежда. С праздником, дорогие подводники.

Т.Деятова

Средства обеспечения образуются совокупностью материальных, духовных, финансовых, правовых, организационных и технических средств, необходимых для осуществления деятельности по обеспечению чего-то. Субъектами «обеспечения» являются индивиды, организации и органы государства, осуществляющие деятельность по обеспечению. Таким образом, обеспечение безопасности объекта зависит не только от деятельности персонала объекта на этапе эксплуатации, но и от деятельности обеспечивающих субъектов, продуманности их действий по обеспечению.

Методология обеспечения безопасности ядерного объекта

Проблема обеспечения безопасности ядерного объекта носит междисциплинарный характер, обусловленный природой науки как таковой, с ее стремлением к единству и синтезу знаний. Необходимость использования всего накопленного научного потенциала в целях обеспечения безопасности определяется феноменом явления «безопасность», связанного с различными областями знаний. Междисциплинарность фокусирует внимание на необходимости изучения взаимосвязи и взаимодействия свойств ядерного объекта с окружающей средой, в которой он функционирует.

Для объективного отражения сущностных основ явления «безопасность», логического обобщения и изучения опыта практической деятельности по обеспечению безопасности, необходима методология, основанная на:

- философии, науке, стремящейся «не к тому, чтобы определить точные границы и внешние взаимодействия между частями и частицами мира, а к тому, чтобы понять их внутреннюю связь и единство»;
- системном анализе, как комплексном инструменте, обеспечивающим выявление и анализ законов и соотношений, общих для различных областей деятельности, взаимосвязанное логико-математическое рассмотрение фактов и явлений, а также методов и способов управления социотехнической системой.
- философскому подходу изучения проблемы обеспечения безопасности соответствуют основные принципы диалектики:
 - закон единства и борьбы противоположностей: в любом «положительном» качестве можно найти отрицательные черты, которые в принципе должны на определенном этапе развития вступить в противоречие и вынудят кого-то (или что-то) искать пути преодоления этого противоречия;
 - все познается в движении: обеспечение безопасности — не статический, а динамический процесс, объективная последовательность взаи-

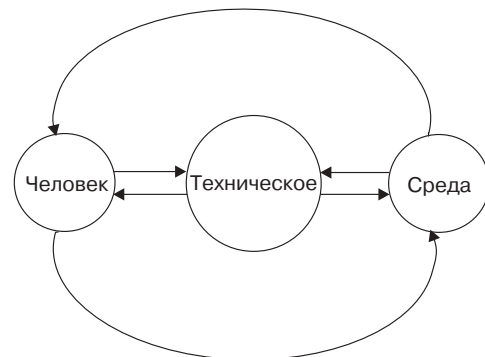


Рис. 2. Объект изучения дисциплины

мосвязанных событий (тепловой взрыв реактора в бухте Чажма, например, стал возможен не только из-за наличия постороннего предмета между крышкой реактора и уплотнительным кольцом, но также из-за использования нерегламентированного перегрузочного оборудования и действий персонала, не соответствующих требованиям нормативных документов);

- в определенных связях, взаимосвязях, взаимозависимости и взаимообусловленности — безопасность, как интегральное свойство системы, обеспечивается через взаимодействие подсистем и элементов ядерного объекта, соподчиненности процессов и явлений, сопровождающих функционирование социотехнической системы (наличие каких-либо барьеров безопасности на ядерном объекте, например, не означает еще обеспечения безопасности как таковой, эти барьеры должны соответствовать природе поражающих факторов, быть целыми, управляемыми, контролируемыми);
- в причинно-следственной соподчиненности — причина порождает следствие, последнее вновь порождает причину последующего события и так до бесконечности («зависимые» отказы, отказы по общей причине);
- в проявлении необходимости и случайности — причинно-следственные отношения никогда не превращаются в беспричинные: сама случайность есть форма проявления необходимости, являясь производной какой-либо причинности, детерминированной определенности (однозначной связи между явлениями) или функциональной (частичной, вероятностной связи между явлениями) зависимости;
- в переходе количества в качество и качества в новое количество — качество, являя собой целостную характеристику функционального единства существенных свойств ядерного объекта, ее внешней и внутренней определенности, характеризует относительную (!) устойчивость (желательно с количественной оценкой), поскольку пределов качественному совершенствованию нет;

- в отрицании отрицания — обеспечение безопасности состоит из множества процессов (стадий), отмирающих и вновь нарождающихся (замена элемента подсистемы, например, требует контроля ее работоспособности, процесс контроля работоспособности (после замены элемента), требует процесса настройки и т.д.).

Обеспечение безопасности как различные виды деятельности, направленные на достижение безопасным образом цели, для которой создавался, например, ядерный объект, можно рассматривать как взаимосвязь и взаимообусловленность процессов аналитико-синтетической деятельности:

- сбор необходимой информации о состоянии элементов социотехнической системы и окружающей среды;
 - анализ собранной и текущей информации, характеризующей как социотехническую системы и окружающую среду, так и предварительно систематизированную информацию о прошлом поведении и опыте эксплуатации рассматриваемой и аналогичных систем;
 - формирование практических предложений по повышению безопасности и их реализация посредством различных видов и средств деятельности.
- Обеспечение безопасности объекта представляет собой решение системной проблемы, для которой характерна достаточно слабая структурированность и значительная неопределенность имеющейся информации, конфликтность критериев разрешимости проблемы и неоднозначность ее решения. Кроме того, проблема обеспечения безопасности, как и любая системная проблема, носит комплексный характер, многоаспектна и изменяется, эволюционирует в процессе ее решения.

Междисциплинарность (многоаспектность) обеспечения безопасности объекта обнаруживается в понятии «жизненный цикл» технической системы (рис. 1), которое может применяться в качестве методологического принципа обеспечения безопасности ядерного объекта (В.Н.Спицнадель). Сущность его формулируется следующим образом: показатели качества объекта, формы и виды деятельности на этапе эксплуатации должны соответствовать требованиям, разработанным и юридически закрепленным на этапе создания ядерного объекта.

Подготовка персонала к безопасной эксплуатации ядерного объекта

Цель, ставящаяся при подготовке специалистов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию ядерного объекта, по своей сути практична

— выявление объективных закономерностей и факторов, влияющих на безопасность, изучение критериев безопасного состояния, методов оценки и прогнозирования безопасности, методов и средств минимизации ущерба, в случае реализации нежелательного развития аварийной ситуации на ядерном объекте.

Исходя из поставленной цели в подготовке соответствующих специалистов, объект изучения может быть определен как «человек — техническое — среда» (рис. 2). При этом под понятием «техническое» понимается совокупность технических систем (технических объектов) со своими атрибутами созданных человеком для удовлетворения своих потребностей.

Предмет изучения дисциплины — закономерности возникновения и возможные пути снижения ущерба, вызванного изменением потоков вещества (энергии, информации) внутри и вне ядерного объекта.

Исходя из междисциплинарности феномена «безопасность» программа подготовки специалистов, имеющих целью безопасную эксплуатацию ядерных объектов, должна включать в себя:

- дисциплины фундаментальных наук (например, математика, физика, химия, механика, гидравлика);
 - дисциплины, связанные с общечеловеческими (гуманистическими) идеалами, а также дисциплины, формирующие «культуру безопасности» (например, философия, системный анализ, социология, экология, теория безопасности);
 - дисциплины, ориентированные на изучение человека (например, физиология, психология, наука об управлении);
 - дисциплины, создающие обобщенное представление о будущем предмете деятельности (например, теория надежности и диагностики, теория систем, системы ядерного объекта, эксплуатация ядерного объекта, на базе осмысленного представления сложной физической взаимосвязи процессов в реакторной установке, безопасное проведение работ).
- Сущность природы феномена «безопасность» многогранна. На данном этапе эволюции человека это понятие не может быть описано, а, следовательно, и понято, только с помощью количественных категорий. К пониманию явления «безопасность» необходимо привлекать не только знание физических законов природы, но и все богатство языковых средств, содержащихся в гуманитарных разделах научного знания. Всестороннее и более глубокое осмысление явления «безопасность» обеспечит нам более комфортное и безопасное существование и развитие.



Б.Г.Гордон,
директор ИТЦ ЯРБ, профессор
МИФИ, заслуженный деятель
науки РФ

Безопасные инновационные реакторы даст только наука

Любое умозрительное суждение немедленно вызывает столь же умозрительное опровержение, и только время, может быть, расставит точки в подобных дискуссиях. Тем труднее начинать обсуждение темы, основным оправданием которой является, как мне кажется, только своевременность обсуждения высказываемой позиции.

Надо отдать должное атомной науке. Хотя она выросла из сугубо прикладных задач обеспечения обороноспособности, создания ядерного щита и т.п., именно благодаря ей создана энергетическая технология с высочайшей надежностью. При всей сложности измерения безопасности можно сказать, что ни одна отрасль, включая космическую и авиационную, не обладает столь глубокой комплексной эшелонированной защитой от возможных аварий. Однако сама мысль, что ядерная авария возможна (не важно с вероятностью 10^{-5} или 10^{-9}), способна отравить и общественное мнение, и наши собственные представления о безопасности атомных объектов. Перефразируя известную поговорку, можно сказать, что ложка Po^{210} отравляет бочку атомной энергетики. И образ эквилибриста, идущего по канату, уже используется не только мной.

Понятно, что чем больше количество ядерных реакторов, чем дольше время их эксплуатации, тем выше вероятность возникновения ядерной аварии, последствия которой грубо и зримо продемонстрировал Чернобыль. Подводя итоги этой группе аргументов и нарочито заостряя вывод, можно сказать, что мировая атомная наука, приспособившая военные технологии к мирным целям, достигла очень многого, но не создала детерминистски безопасных типов ядерных реакторов, потому что перед ней не ставилась такая задача. Надо бы каталогизиро-

субъективны за исключением содержания госзаказа в последней колонке, которое, по сути, цитирует упомянутое выступление Президента России.

Отечественная ядерная отрасль создавалась и развивалась в государственном секторе. Лучшие умы использовали передовые достижения фундаментальных и прикладных наук для создания таких типов реакторов, которые бы оперативно решали целый комплекс военных задач. Способность промышленных реакторов производить электроэнергию оказалась сопутствующим свойством. Создатели реакторов рассчитывали на жесткую дисциплину военных производств при изготовлении оборудования, сооружении и эксплуатации, кстати сказать, для лодочных реакторов зачастую довольно короткой, спланированной строго для решения военных задач.

В этих условиях в 50-е годы не было и речи о приоритетности вопросов ни ядерной, ни радиационной безопасности. Конечно, ядерных аварий по возможности следовало бы избегать так же, как радиационного облучения. Но и на промышленных, и на лодочных реакторах аварии изредка происходили, а при ликвидации их последствий люди переоблучались. Решение проблемы обращения с отработавшим ядерным топливом и высокоактивными отходами откладывалось на неопределенный срок, аргументируя, действительно, очень небольшими их объемами. В этих аспектах интересы чиновников, ставивших и финансировавших задачи, и ученых, их решавших, совпадали.

Когда же атомщики провозгласили возможность широкомасштабного развития атомной энергетики, то приоритетной научной задачей стали доказательства работоспособности, эффективности, надежности принятых проектно-конструкторских решений уже выбранных типов реакторов и другого оборудо-

Характеристика	Революция в вооружении, создание ядерно-оружейного комплекса (40–50 годы XX века)	Создание ядерно-энергетического комплекса на эволюционных типах реакторов (60–80 годы XX века)	Создание ядерно-энергетического комплекса на революционных типах реакторов (начало XXI века)
Содержание государственного заказа	Скорейшее создание ядерного оружия. Повышение его эффективности, боеготовности, надежность хранения, снижение габаритов.	Использование разработанных в военно-оружейном комплексе типов реакторов для производства электроэнергии.	Исключение использования обогащенного урана и плутония. Окончательное решение проблемы радиоактивных отходов. Нераспространение ядерного оружия.
Финансовое обеспечение	Первоочередное финансирование широкого фронта ядерных разработок, концентрация смежных отраслей на приоритетном исполнении ядерных заказов.	Государственная программа развития атомной энергетики, полное обеспечение подведомственных организаций.	Частичное обеспечение подведомственных организаций по остаточному принципу. Необходима специальная целевая программа.
Организационные формы	Специальный государственный орган (ПГУ) с подчинением высшему руководству страны. Четкие планы разработок с жестким контролем.	Министерство энергетики и электрификации с участием Министерства среднего машиностроения. Планы ввода мощностей с корректировками.	Федеральное агентство по атомной энергии. Отсутствие заинтересованных крупных концернов: Росэнергоатом, ТВЭЛ, Техснабэкспорт.
Человеческие ресурсы	Ведущие молодые профессора смежных наук. Лучшие выпускники университетов и политехнических вузов. Переориентация вузовских кафедр. Образование МИФИ и других профильных вузов.	Профессора и выпускники университетов и технических профильных вузов.	Непрестижность ядерных специальностей, отток лучших выпускников МИФИ и ядерных кафедр в бизнес и за границу.
Научное сотрудничество	Концентрация смежных фундаментальных и прикладных наук для решения технических задач.	Максимальное применение отработанных технологий, процессов, материалов.	Внутрикорпоративная конкуренция представителей эволюционного направления развития между собой за финансы, людей и власть.

Табл. 1. Сравнительная характеристика основных условий создания ядерных объектов

современные реакторы не могут эксплуатироваться без участия оператора, то именно человеческий фактор вносит существенный вклад в вероятность аварии, является источником неопределенности ее расчета и препятствием для повышения точности вероятностных анализов.

Важно не значение величины вероятности, а сущность вероятностных событий. Если в энергосистеме, состоящей из эволюционных реакторов, может произойти авария, то она произойдет рано или поздно, если не успеть вывести из эксплуатации эти реакторы.

Разговоры об инновационных реакторах, новой технологической платформе не должны вводить в заблуждение. Эта платформа так же, как проекты ИНПРО и G-IV, основана на давно известных типах реакторов. Их новизна привлекательна для других участников упомянутых проектов, но не для России и США. Основное отличие эволюционных реакторов от тех, что зовут революционными, в целеполагании. Они должны быть построены с использованием имеющихся технологий. А цель революционных реакторов – безопасность, то есть детерминистское исключение тяжелых аварий и далее то, что содержится в третьем столбце таблицы, – требует поиска новых технологий под новые идеи еще не придуманных конструкций.

Эта задача потруднее, чем создание атомной бомбы. Когда в СССР организовывался атомный

целей, по-прежнему стремимся приспособить для мирного использования.

Надо создавать условия для революционной ситуации, конкретные последствия которой, как и любой революции, не могут быть предсказаны, по определению. Перефразируя известный догмат, надо сделать так, чтобы верхи поняли невозможность развивать энергетику будущего на старых типах реакторов и создали условия для того, чтобы низы захотели искать новые типы реакторов.

Я убежден, что именно сейчас созрели предпосылки для формирования комплексной научной целевой программы создания революционных типов реакторов. Главной из них видится активная и решительная позиция Росатома, нацеленная на развитие атомной энергетики и решение проблем прежней деятельности, зафиксированная в двух федеральных целевых программах. Создание новых рабочих мест, достойная оплата работников ядерной отрасли, долготелая перспектива – все это призвано сохранить отрасль привлекательной для общества.

Приятно отметить, что активные действия Росатома за последний год создали предпосылки для последующих действий. По сути дела, программа призвана дать второе рождение атомной отрасли, сделать ее более привлекательной и перспективной для молодых людей. Можно сказать, что она обеспечивает настоящее атомной энергетики.

Цель революционных реакторов – безопасность, то есть детерминистское исключение тяжелых аварий.

проект, сама возможность существования бомбы уже была реализована в США и советские ученые должны были найти пути создания собственных технологий и конструкций. Ныне же нельзя гарантировать, что искомая конструкция реактора с заданными свойствами может существовать, поэтому надо создавать именно условия для поиска таких технологий и конструкций.

Такое ощущение, что в упомянутых международных проектах мы пытаемся организовать разработку революционных типов реакторов эволюционными методами: реакторы, проекты которых разработаны 30 лет назад, называем инновационными, технологии, опробованные для военных

Проект ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 и на период до 2015 года», который, надеюсь, вступит в силу в 2008 г., направлен на ликвидацию последствий прежней деятельности, прошлых проблем. И далее следует готовить федеральную целевую программу с ориентировочным названием: «Создание условий для развития атомной науки и технологий» (ФЦП), которая бы обеспечивала будущее атомной энергетики. Эта программа должна быть направлена, в первую очередь, на развитие «ядерных» кафедр, которые способны инициировать разработку новых революционных типов реакторов. Об этом в журнале «Атомная стратегия» (октябрь 2006 г.) пишет и профессор В.М.Мурогов.

Основывая атомную энергетику на эволюционных реакторах, можно прийти к Чернобылю.

вать все имеющиеся предложения по различным конструкциям, провести анализ всего сделанного и двинуться другим путем, учитывая и используя весь уникальный опыт.

Начиная с вузовских кафедр, перед молодыми людьми следует ставить задачи поиска новых типов ядерных реакторов, которые не использовали бы обогащенный уран и плутоний, не накапливали бы продукты ядерных реакций и технологически обеспечивали бы нераспространение ядерных материалов. Я не придумал эти три характеристики революционных ядерных реакторов. Они озвучены на Саммите тысячелетия в Вене нашим Президентом в 2000 г.

Известно, что при возникновении любой проблемы ищутся сначала финансовые, потом организационные меры для ее решения, ясно понимая, что решать проблему по- существу будут те специалисты, которых удастся привлечь для этой цели. Жизненный опыт свидетельствует, что в физико-технических задачах невозможность решения чаще всего кроется в технологических, а не физических препятствиях.

Легко предугадать возражения. Но я надеюсь, что в огне справедливой критики может возникнуть свет, который обнаружит новые, еще неизвестные нам знания. Надо искать и воспитывать новых реакторостроителей: Ферми, Лейпунского, Фейнберга, – а не тех, кто будет прилежно продолжать изучение аварий на объектах, придуманных для совершенно других целей.

И проблема состоит в том, как организовать этот поиск. Для этого целесообразно кратко проанализировать историю создания действующих ядерных реакторов и сделать из нее практические выводы. Результаты такого анализа приведены в таблице. Сформулированные характеристики, разумеется,

вания. Активно изучались переходные и аварийные процессы для доказательства возможности работы в проектных пределах (60–70-е годы).

После аварии на Три-Майл-Айленд в моду вошли исследования запроектных аварий с целью отработки мер аварийного реагирования (80–90-е годы). В этот период работы по изучению принципиально иных типов реакторов для широкомасштабной энергетики как-то ушли в тень. К сожалению, такое положение дел было и на ядерных кафедрах, где дипломные работы защищались по ВВЭР и РБМК, и в Курчатовском институте, назначенном научным руководителем на объектах атомной энергетики.

Таблица с очевидностью иллюстрирует провал длительностью в несколько десятилетий, когда государственная задача создания революционных типов реакторов не ставилась перед учеными. Продолжению этого периода способствует и то, что в настоящее время внедряется понимание «инновационных» технологий как развитие таких типов реакторов, проекты которых существуют уже лет тридцать. Но, основывая атомную энергетику на эволюционных реакторах, у которых частота тяжелой аварии оценивается как 10^{-4} – 10^{-5} 1/реактор*год, можно прийти к Чернобылю.

Для тех, кто называет себя «зелеными», следует пояснить. Сказанное означает: для того чтобы избежать тяжелых аварий на эволюционных реакторах, следует обеспечить высокую культуру безопасности, жесткую дисциплину и постоянное напряжение всего оперативного и административного персонала. Как это делается сейчас в России или, скажем, во Франции, где 75% всей электроэнергии вырабатывается на АС.

Серийность, унифицированность, крупноблочность не решают проблему принципиально. Так как

Выбор кафедр будет достаточно труден, ведь на них работают многие профессора, которые 30–40 лет сами занимались тем же, что и ведущие НИИ Росатома: приспособление действующих трех типов энергетических реакторов к существующим требованиям. Они уже поневоле привыкли к тем условиям, в которых увядала атомная наука двадцать лет: мизерное финансирование, вялая мотивация, немолчаливый возраст и погоня за западной помощью. Надо искать, и, может быть, отбирать по конкурсу тех специалистов, которые еще не потеряли вкус к продуцированию новых идей. А в таких известных институтах как РНЦ «КИ», ФЭИ, НИИАР надо создавать специализированные научные подразделения, может быть, даже объединенные в единые организационные формы для трудоустройства выпускников этих обновленных кафедр. Показательно, что в последние годы предложения принципиально новых ядерных энергоисточников исходили не из этих институтов, а от НИКИЭТ, ВНИИАМ и НПО «Луч», предназначение которых все-таки иное.

Характерные, родовые черты атомной технологии лежат в основе принципиальных отличий прикладной атомной науки от всех прочих и делают ее поистине уникальной. Поэтому отношение к ней должно быть отлично от остальной прикладной науки. Вундеркиндов воспитывают по специальным программам, отделенным от средней школы. Такая позиция разделяется многими специалистами моего поколения, особенно работниками бывшего Средамаша. Но мне кажется, она не вполне понима-

ется более молодым руководством Росатома, особенно той его частью, которая не проросла изнутри отрасли. Они молоды, но уже опытные в умении управлять и еще пластичны, чтобы глубже вникать в предмет управления.

Уникальность атомной науки должна быть зафиксирована законодательно и, прежде всего, в кодексах: налоговом, бюджетном, трудовом. Происходящая активная реструктуризация отрасли не сможет иметь будущего без сохранения и развития прикладной атомной науки, из которой только и могут родиться новые революционные детерминистски безопасные типы ядерных реакторов.

Финансовое обеспечение всей ФЦП «Развитие атомного энергомашиностроительного комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года» на 9 лет составляет около 1,4 трлн. руб. Проект требует на порядок меньше – примерно 130 млрд. руб. Думается, что средства, необходимые для будущей ФЦП, будут меньшими еще на порядок, но значение такой программы трудно переоценить.

«Ну, вот, – скажет иной разочарованный читатель, – автор опять предлагает напрочь государственный бюджет ради достижения сомнительных ведомственных целей». Но, во-первых, автор принадлежит к другому ведомству и его суждения, если не объективны, так вполне бескорыстны. А во-вторых, речь идет не столько о дополнительных бюджетных вливаниях, сколько о последовательности действий. Если государство сделало шаг величи-

ной в 1,4 трлн. руб., если подготовлен следующий шаг в 130 млрд. руб., то дальнейшее движение по этому пути будет стоить еще меньше. В разделе 6.5 ФЦП необходимые на 9 лет средства оценены величиной в 25 млрд. руб. Но только на этом третьем шаге, только от науки можно получить конструкции детерминистски безопасных реакторов, которые могут стать привлекательными и для инвесторов, и для общества.

Кстати сказать, в ряде статей содержатся сетования на малый объем НИОКР, предусмотренный в ФЦП. Это так, потому что эти НИОКР обеспечивают эволюционное развитие реакторов. А проект будущей ФЦП должен преследовать иные цели. Наряду с собственно научными исследованиями в ней должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по повышению квалификации преподавателей «ядерных» кафедр, развитию их учебных программ, выплате специальных стипендий и грантов, созданию обратной связи между выпускниками и кафедрами и т.п.

В ней должны быть предусмотрены средства для формирования адекватного образа атомной отрасли у населения и лиц, принимающих решения, включая конкурсы на художественные произведения, сценарии, кино- и телефильмы, научно-популярную литературу. Необходимо системное взаимодействие с СМИ, создание музеев и общественных центров ядерной техники, школьных учебников и т.п. И, конечно же, вся эта деятельность должна быть законодательно оформлена

путем создания стимулирующих правовых норм (налоговые льготы населению и организациям, социальная защита отрасли, освобождение от воинской обязанности и т.п.).

Подводя итоги, должен признаться, что мысли данной статьи впервые я изложил года три назад одному известному зарубежному специалисту моего поколения – возраста атомной отрасли. И по тому ожесточению, с которым спорил этот мягкий, толерантный человек, я понял, что публиковать такие мысли не стоит. Действительно, после смерти любви, власти, авторитет исчезают; вещи, деньги переходят в иные руки. Остается только память, материализованная в умах еще живущих, книгах, пароходах, строчках и других долгих делах. Покушение на славное прошлое – так воспринималась моя позиция. И он использовал вполне гегельянский аргумент: все действительное – разумно. Раз оно существует, значит иначе и быть не могло, вся мировая атомная энергетика идет по эволюционному пути от военных прототипов.

Разумеется, так оно и есть. Проверка практикой – последнее прибежище безбожного сознания. Но мы-то сами должны отдавать себе же отчет: что мы несем в мешках под глазами – прежде всего для тех, кто идет после нас. И я решился опубликовать эти мысли именно потому, что сейчас они мне кажутся весьма актуальными. Те, кто идет после нас, кажется, нашли силы и средства для второго рождения атомной отрасли, и дай Бог им удачи увидеть на этом пути тех, кто пойдет вслед за ними.

Компьютерный эксперимент не заменит «горячую» камеру

В НИИ атомных реакторов в Димитровграде в середине марта прошел Координационный научно-технический совет по реакторному материаловедению. Кроме итогов НИР 2006 года и планов на 2007 г., одним из вопросов была деятельность КНТС РМ в условиях формирования атомной отрасли.

Известно, что разработанная Росатомом ФЦП «Развитие атомно-промышленного комплекса» не предусматривает бюджетных средств на поддержание экспериментальной базы отрасли и научное обоснование инновационных проектов, в отличие от предыдущей программы «Энергоэффективная экономика», где не было финансов на строительство, но выделялось порядка 360 млн. руб. на вышеуказанные цели. Проекты АЭС-2006 и БН-800 с МОХ-топливом можно, конечно, при известной доле изворотливости обосновать на бумаге, что-то спрогнозировать на компьютере и т.д. Но атомная отрасль обязана опираться на здоровый консерватизм и принцип «семь раз проверь, один раз поставь в реактор». А это означает серьезную проверку решений в экспериментах на исследовательских реакторах с последующим обследованием в «горячих» камерах.

Никакая компьютерная программа пока не в состоянии адекватно объяснить поведение многокомпонентных реакторных материалов в сложных и меняющихся условиях эксплуатации (по температуре, нейтронным потокам, примесям в теплоносителе). Только эксперимент выявляет теоретические недочеты. Вспоминая прошлое – хороша была на бумаге технология изготовления керметных твэлов с прямым обжигом оболочки для исключения зазора с топливом. Но при облучении в экспериментах в НИИАРе обнаружилось ее отслаивание, перегрев и как результат – разгерметизация. От простого и дешевого решения пришлось отказаться.

Другой пример – несколько лет назад, также в НИИАРе, проводились испытания твэлов с оболочками из стали ЭК-164. Два из трех разгерметизировались. Основными причинами были названы неправильные режимы и отсутствие дистанционирующей проволоки, но при этом скромно умалчивалось, что соседние твэлы из штатной стали несколько не пострадали (т.е. режимы были не такими ужасными) да и разгерметизировавшиеся твэлы стояли отдельно друг от друга (так что отсутствие проволоки тоже не слишком повлияло). Средств на повторение эксперимента в исследовательском реакторе не нашлось, оболочки из ЭК-164 будут испытаны в

А.Н. Андрианов,
*к.т.н., зам. директора
Департамента
ТЭК Минпромэнерго*



экспериментальных сборках в БН-600. Хорошо это или плохо? Все теперь зависит от удачи, а не от методического изучения нового материала, а это не слишком радует.

В проектах АЭС-2006 и БН-800 сейчас необходимо серьезное финансирование в части реакторного обоснования. Это касается как циркониевых сплавов для реакторов ВВЭР нового поколения с большей мощностью и своими особенностями взаимодействия пароводяной фазы с конструктивными элементами твэлов и ТВС, так и стальных оболочек твэлов и чехлов ТВС для более мощного быстрого реактора, взаимодействия МОХ-топлива с оболочкой и жидкометаллическим теплоносителем в случае разгерметизации. Однако пока мы видим противоположную картину – объем средств на материалыведческие исследования ежегодно сокращается.

Например, в планы КНТС на 2007 г. включены предложения по исследованию уранового топлива и циркониевых оболочек при повышенных выгораниях (чтобы говорить об их конкурентоспособности), коррозии в условиях повышенного паросодержания теплоносителя и отклонений от вводно-химического режима, процессов наводораживания циркония, выхода продуктов деления из-под оболочки, изменения механических свойств и т.д. Изучение поведения твэлов и ТВС в переходных и аварийных режимах, кинетики высокотемпературного окисления и термостойкости оболочек в условиях ЛОСА. Предлагаются испытания корпусных сталей и ВКУ для реакторов нового поколения с увеличенным сроком службы, оболочек твэлов из перспективных жаропрочных сталей для реакторов типа БН, испытания высокоэффективных и радиационностойких поглощающих материалов на основе гафния и диспрозия для органов регулирования. И так далее, и тому подобное. Но это лишь предложения научно-технического совета, что из этого будет профинансировано – большой вопрос.

Положение с реакторной экспериментальной базой отрасли очень тревожное. В свете решения глобальных проблем – где строить, так чтобы угодить и другим игрокам, проблемы внутренние отошли на второй план. Но они остались. И требуют выявления внутренних резервов для выправления ситуации и взвешенных, без шапкозакидательства, решений. Недавний пример – три новых заместителя гендиректора из плеяды менеджмента, которых прислали в НИИАР перед новым годом и которые сразу пообещали выявить «балласт», поувольнять всех, кто плохо или экономически «неэффективно» работает, и тем самым решить финансовые проблемы института. Но за 3 месяца «варяги» поухили, осознав, что никто ничего не вернет и с наскоку накопившихся проблем не решить. Очевидно, что без серьезной государственной поддержки не обойтись. При этом время идет, регион развивается, появляется все больше желающих переманить умных квалифицированных людей из НИИАРа в свой бизнес.

В период всплеска интереса к атомной энергетике перед и после саммита тысячелетия и, соответственно, некоторого увеличения финансирования, Минатом пытался комплексно подойти к решению задачи поддержки экспериментальной базы отрасли. Была даже создана специальная рабочая группа во главе с В.Б. Ивановым, которая провела анализ экономической обеспеченности функционирования этой базы и определила дополнительные потребности. Так в 1999 г. смета на содержание стендов и установок для гражданской атомной энергетики оценивалась в 184 млн. руб., примерно аналогичная сумма требовалась и для экспериментальной базы ядерного топливного цикла. Часть средств обеспечивалась разделом по поддержке безопасной эксплуатации стендов и оборудования в ФЦП «Энергоэффективная экономика», другая часть – из иных бюджетных источников.

В части атомной энергетики это не только исследовательские реакторы в НИИАРе и ИРМе (бывший СФ НИКИЭТ) и «горячие камеры» с материаловедческими комплексами при них, но и стенды и ускорители ФЭИ, стенды для испытаний разрабатываемого оборудования в ОКБ «Гидропресс», ЭНИЦ, ОКБМ, НПО «Луч», комплексы и стенды для исследований материалов, для отработки технологий переработки РАО во ВНИИНМ. Для примера по ядерному топливному циклу можно назвать комплексы во ВНИИХТе для отработки перспективных технологий добычи и извлечения урана из руд, мощную экспериментальную базу

по отработке технологий обращения с ОЯТ и РАО в НПО «Радиовый институт».

Однако с падением интереса к атомной энергетике после саммита началось существенное сокращение финансирования и этого проекта, попытка комплексного решения была заменена на точечное затыкание дыр.

Коль зашла речь не о выживании, а о «ренессансе», пора вспомнить о необходимости не только поддержания существующего оборудования, но и о его модернизации. Атомные экспериментальные комплексы уникальны и в совокупности позволяют решить любую проблему. Возможно, пришло время уточнить состояние и потребности в отдельных сегментах экспериментальной базы, вероятно, не все будет востребовано. Но как обойтись без жидкометаллических стендов ФЭИ, если мы собираемся развивать быструю энергетiku, без критических стендов и ускорителей ФЭИ, если для расчетов по активной зоне АЭС-2006 необходимы новые уточненные ядерные данные. Как проверить работоспособность и обосновать безопасность твэлов, ТВС для новых проектов без испытания в исследовательских реакторах и детального изучения в «горячей» камере, обосновать работоспособность оборудования без испытания на стендах ОКБ «Гидропресс» и ЭНИЦ. Постановка новых непроверенных решений сразу в реактор АЭС чревата неприятностями и для самих решений, и для АЭС со стороны «зеленых».

Экспериментальная база не «балласт», а созданная поколениями необходимая часть обеспечения безопасного развития отрасли. Сейчас это дорогое удовольствие, но попытки перевести ее на максимальное самообеспечение, переключить с атомной тематики на иные «инновационные» поиски получения прибыли, напоминает анекдот с милиционером, которому дали пистолет, но про зарплату забыли – крутись, как сможешь.

КНТС РМ показал – материаловедческих задач в отрасли в свете принятой ФЦП море. И независимо от того, будет создан Атомпром сейчас или решение отложится до более «дружественных» к России времен, но для реализации принятой программы, кроме вопросов строительства новых блоков, производства оборудования и т.д., кроме разговоров о количестве вложенных долларов на МВт установленной мощности (наиболее понятных менеджменту), необходимо решение «атомных» вопросов, и путь здесь один – эксперимент. Иначе все слова о новом и конкурентоспособном останутся словами.

Устраняем коррозионные трещины в сварных соединениях трубопроводов РБМК

А.А.Блюмин;
Г.П.Карзов, д.т.н., профессор,
ЦНИИ КМ «Прометей», Санкт-Петербург

АЭС с реакторными установками канального типа дают около половины электроэнергии, производимой на российских атомных электростанциях. На АЭС типа РБМК-1000 трубопроводы диаметром от 70 до 300 мм изготовлены в основном из аустенитной нержавеющей стали. В девяностых годах прошлого века практически на всех АЭС с кипящими атомными реакторами как за рубежом, так и в России были отмечены случаи образования трещин в сварных соединениях трубопроводов.

В связи с тем, что это явление приняло массовый характер, выросли затраты на контроль состояния оборудования и ремонт, которые стали составлять основной объем работ в период плановых остановов станции. Учитывая, что контроль и ремонт оборудования проводятся в условиях воздействия на персонал ионизирующего излучения, а ремонты трубопроводов, производимые методом вырезки дефектного сварного соединения с частичной заменой трубы, приводят, зачастую, к появлению новых дефектных сварных соединений, потребовалась разработка более эффективных мероприятий для предотвращения образования трещин в трубопроводах действующих энергоблоков.

Почему появляются трещины

Подверженность аустенитных сталей преимущественно разрушению по границам зерен при воздействии коррозионной среды связывают с уменьшением содержания хрома по границам зерен за счет связывания его в карбиды и выделения карбидов в межзеренных промежутках. Причиной появления трещин принято считать межкристаллитное коррозионное растрескивание под напряжением (МКРПН) материала. Склонность к этому виду разрушений может быть приобретена материалом как на стадии производства, так и в случае нарушения технологии выполнения многопроходной сварки, например, после сварки на повышенных режимах и длительном нагреве определенных зон до температур 600–650°C. Чувствительность нержавеющей сталей к такому коррозионному растрескиванию характеризуется термином «сенсibilизация», которая выявляется на металлографических шлифах в виде участков карбидов по границам зерен (рис. 1а).

Применение высокотемпературной термической обработки (аустенизации) позволяет растворить карбиды (см. рис. 1б) и снизить остаточные сварочные напряжения. Следует отметить, что такая термообработка на смонтированных трубопроводах весьма непростое дело, поскольку должна быть проведена локально, с учетом доступности к зоне термообработки, а оборудование для термообработки и контроля параметров нагрева должно устанавливаться на трубопровод быстро и надежно.

Наше решение

Институт ЦНИИ КМ «Прометей» по заданию концерна «Росэнергоатом» разработал технологию и установку для высокотемпературной термической обработки сварных соединений заглушек коллекторов напорной части системы нижних водяных коммуникаций установок РБМК-1000. Выбор этого сварного соединения оправдан как его важностью в системе контура циркуляции АЭС, так и ограниченным числом допустимых ремонтов данного узла. Для проведения местной термообработки был выбран индукционный метод нагрева, обеспечивающий самый быстрый и локальный разогрев при минимальных вложениях электрической мощности. В конструкции установки учтены негативные особенности индукционного нагрева, которые могли проявиться в опасности расплавления поверхности металла трубопровода при высоком темпе нагрева. Были разработаны: конструкция индукторов, системы фотопирометрической регистрации режимов нагрева (рис. 2), а также системы дистанционного мониторинга процесса из безопасного помещения (рис. 3). Разработанная установка предусматривает также различные блокиров-



Рис. 3. Дистанционный мониторинг при термообработке

ки от несанкционированного попадания персонала в зону производства работ.

Все составляющие установки изготовлены на отечественных заводах. Генератор мощностью 100 кВт, индуктор с блоком конденсаторов и гибкий высокочастотный кабель обеспечивают доступность к любым участкам конструкции. На установке применено дистанционное телевизионное наблюдение за зоной разогрева (рис. 4) и электронная регистрация температуры процесса. Оборудование позволяет выполнять термическую обработку сварных соединений как в автоматическом (с помощью управляющего комплекса), так и в ручном режиме (управление процессом осуществляется оператором). Кроме этого, предусмотрены меры защиты оборудования, в основном прилегающих сварных соединений, от неблагоприятного теплового воздействия.

Персонал, обслуживающий установку, проходит обучение и тренировку на специально созданном для этих целей макете (см. рис. 5) задачей тренировки является отработка приемов быстрого монтажа оснастки на трубопроводе для минимизации времени нахождения персонала в зоне с повышенным радиационным фоном.

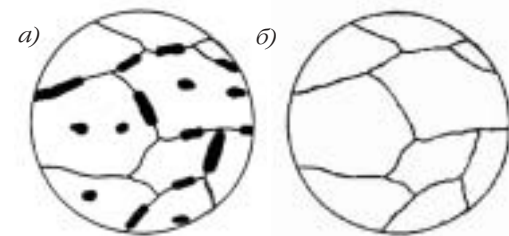


Рис. 1. Структура нержавеющей стали марки 08X18H10T а) в сенсibilизированном и б) аустенизированном состояниях

Практическое применение

На разработанном оборудовании, при техническом сопровождении работ специалистами ЦНИИ КМ «Прометей», в 2004 году впервые в отечественной атомной энергетике на первом блоке Ленинградской АЭС была проведена высокотемпературная термическая обработка сварных соединений приварки доннышек коллекторов напорной части системы нижних водяных коммуникаций (РГК). Процесс аустенизации 27 сварных соединений был проведен по следующему режиму: индукционный нагрев до температуры 1050±10°C, выдержка при этой температуре 50 мин., охлаждение на воздухе. При проведении аустенизации были использованы: генератор СЧГ-100/10 Ленинградского завода высокочастотных установок, инфракрасные фотопирометры «Кварц-М» с управляющим комплексом (при этом для повышения надежности работы установки было задействовано 2 комплекта фотопирометров) и трехфазный водоохлаждаемый индуктор.

В течение двух лет ежегодно проводился ультразвуковой контроль сварных соединений, который показал полное отсутствие дефектов в сварных соединениях, прошедших термообработку.

В 2006 году на Ленинградской АЭС была завершена термическая обработка сварных соединений заглушек коллекторов нижних водяных коммуникаций первого и второго блоков.

Контроль качества

В любом технологическом процессе необходима операция контроля качества. В случае местной термообработки, где трудно оценить действия персонала после ее завершения, поскольку нет видимых изменений в конструкции, задача контроля качества требует применения специализированного оборудования для неразрушающего контроля. По заданию концерна «РОСЭНЕРГОАТОМ» в институте ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ» разработано такое оборудование для контроля материалов конструкции в условиях АЭС по критерию химической стойкости или по уровню сенсibilизации.

Был разработан прибор, действующий на основе метода электрохимического сравнения токов при анодной и катодной поляризациях. Этот прибор с помощью переносной малогабаритной электрохимической ячейки позволяет проводить необходимые измерения непосредственно на изделиях, подвергшихся аустенизации. Принцип действия прибора заключается в том, что на заранее подготовленную поверхность трубопровода площадью 5–10 мм² прикрепляется электрохимический датчик, с помощью которого автоматическим воспроизводится процесс программного изменения потенциалов, при этом измеряются токи в анодном и катодном направлениях. Соотношение максимальных токов, измеренных при поляризации, является критерием химической стойкости или степени сенсibilизации материала. Прибор оснащен жидкокристаллическим дисплеем, который отображает поляризационные кривые, текущие числовые значения потенциала и тока, а также коэффициенты химической стойкости материала. При весе всего 900 грамм прибор может автономно работать в течение 4–5 часов, не требует постоянного соединения с компьютером, записывая в собственную память результаты не менее сотни испытаний. В случае необходимости эта информация может быть передана на компьютер.

Для нержавеющей сталей, применяемых при изготовлении трубопроводов АЭС, экспериментально установлены скорости изменения потенциалов и критические значения отношений токов в анодном и катодном направлениях. Разработанный прибор позволяет количественно оценивать эффективность



Рис. 2. Фотопирометрические датчики температуры



Рис. 4. Телевизионный мониторинг процесса



Рис. 5. Макет для отработки безопасных приемов работы



Рис. 6. Прибор, разработанный ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ», для определения химической стойкости (сенсibilизации) нержавеющей сталей

проведенной высокотемпературной термической обработки. С этой целью прибор был использован для контроля качества термообработки блоков № 1 и № 2 Ленинградской АЭС. Фотография прибора и измерительной ячейки представлена на рис. 6. Для калибровки прибора применительно к температурным условиям измерений в ЦНИИ КМ «Прометей» разработаны специальные образцы, химическая стойкость которых установлена и верифицирована. Прибор аттестован и внесен в реестр средств измерений Госстандарта РФ.

Результаты и рекомендации

В результате проведенных работ по аустенизации сварных соединений доннышек коллекторов напорной части трубопроводов первого и второго блоков Ленинградской АЭС показана принципиальная возможность выполнения высокотемпературной термической обработки на действующем оборудовании, и подтверждена методами прямых измерений сенсibilизации эффективность метода. Предотвращен процесс образования трещин на сварных соединениях, и тем самым исключены затратные ремонтные операции.

Таким образом, представленный комплекс, состоящий из установок для термообработки и прибора для контроля качества термообработки, может быть рекомендован к применению на других АЭС с реакторами канального типа.



Продление срока эксплуатации энергоблоков не снижает их надежности

В ближайшие 15 лет закончится срок эксплуатации большинства атомных реакторов России, что может привести к существенному уменьшению доли атомной энергии в общем энергобалансе страны. Однако анализ состояния этих реакторов позволяет сделать вывод о том, что при соответствующей модернизации возможно продление времени их работы на десять-пятнадцать лет без снижения безопасности. Это определяется не только ресурсом незаменимых элементов реакторной установки, таких как графитовая кладка реактора, металлоконструкции, строительные конструкции, барабан-сепаратор, но и огромным опытом российских атомщиков. Этим опытом делится с читателями «Атомной стратегии» **главный инженер Sosnovoborskого VNIPIET Чоботко Николай Тимофеевич.**

— **Николай Тимофеевич, не знаю насколько корректным будет сравнение автомобиля с атомной станцией (АС), но стали бы вы сами покупать подержанный автомобиль?**

— Почему бы и нет? Если машина модернизирована, на ней грамотно проведены все профилактические работы, предоставлена гарантия и цена много меньше, чем у новой машины, то, возможно, я бы так и поступил. А если серьезно, то при продлении срока службы реактора используются самые современные достижения реакторостроения, и особое внимание уделяется вопросам безопасности. Фактически, реактор, продемонстрировавший свою надежность за тридцать лет эксплуатации, получает дополнительные гарантии.

— **Какой документ регламентирует продление срока эксплуатации объектов атомной энергетики?**

— Сегодня это НП-024-2000 «Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ)», в которых продление срока эксплуатации определяется как деятельность по подготовке ОИАЭ к эксплуатации в течение дополнительного срока.

Продолжительность эксплуатации атомной станции (АС) сверх назначенного срока устанавливается с учетом особенностей конкретной АС, а также технических и экономических факторов, включающих: безопасность эксплуатации и вывод из эксплуатации, состояние незаменимого оборудования, радиоактивные отходы, включая те, которые образуются при продлении срока эксплуатации.

— **Что должна сделать эксплуатирующая организация на подготовительном этапе?**

— Эксплуатирующая организация, а в нашем случае это концерн «Росэнергоатом», должна провести комплексное обследование АС; разработать Программу работ; провести подготовительные работы, включая обоснование безопасности и оста-

точного ресурса элементов, замену оборудования, выработавшего свой ресурс, а в случае необходимости — модернизацию и реконструкцию АС. Кроме этого, она должна провести испытания систем АС, необходимые для подтверждения соответствия их проектным требованиям.

— **Что обычно прописывается в Программе работ по подготовке АС к продлению срока эксплуатации?**

— Программа предусматривает исследования по определению остаточного ресурса элементов АС, а также определение и реализацию необходимых мер по восстановлению ресурса этих элементов; разработку технических и организационных мер по частичному или полному исключению и ограничению влияния на безопасность дефицитов безопасности; разработку проекта модернизации и реконструкции АС и его реализацию; разработку программы обеспечения качества выполнения работ по подготовке АС. Предусмотрено также проведение испытаний систем и элементов АС, необходимых для подтверждения соответствия их проектным требованиям. Кроме того, корректируются действующие документы по обоснованию безопасности или готовятся новые документы по обоснованию безопасности в течение дополнительного срока эксплуатации.

— **Какие важнейшие мероприятия должна выполнить эксплуатирующая организация в рамках программ подготовки ОИАЭ к дополнительному сроку эксплуатации?**

— В первую очередь, это мероприятия по устранению или компенсации дефицитов безопасности, а также установление остаточного ресурса элементов, важных для безопасности, для которых он не мог быть определен в ходе комплексного обследования. Кроме этого должны быть проведены мероприятия по замене оборудования и других элементов, выработавших свой ресурс, а также выполнены наладочные работы и проведены испытания. И обязательно корректируется эксплуатационная документация и организуется переподготовка персонала.

— **Возможно ли продление срока эксплуатации административным решением без остановки реактора, или этот процесс всегда связан с остановкой реактора?**

— Решение о продлении срока принимается Ростехнадзором России по результатам рассмотрения обосновывающих материалов при выдаче лицензии на эксплуатацию сверх назначенного срока. Но прежде проводится комплекс ремонтно-восстановительных работ с длительным остановом реактора для проведения модернизации и реконструкции. Решение о проведении данных работ принимается Федеральным агентством по атомной энергии заблаговременно до окончания срока работы блока.

При продлении срока эксплуатации энергоблоков 1 и 2 ЛАЭС кроме ремонтно-восстановительных работ на существующем оборудовании были введены в эксплуатацию новые и реконструированы имеющиеся системы, важные для безопасности. При разработке проектов модернизации существующих и проектировании новых систем необходимо было учитывать наличие существующего оборудования, труб, кабельных трасс, дефицит производственных площадей, то есть решать проблемы размещения и подключения дополнительных элементов, не предусмотренных первоначальной конструкцией здания.

— **В чем заключалась роль Sosnovoborskого VNIPIET при продлении срока эксплуатации блоков 1 и 2 Ленинградской АЭС?**

— Наряду с другими ведущими организациями отрасли мы принимали участие в разработке проекта модернизации этих энергоблоков. Наше предприятие являлось основным исполнителем САОР (система аварийного охлаждения реактора), САЭ (система аварийного электроснабжения), КСУ АР (комплексная система управления аварийным расхолаживанием).

Кроме того, были разработаны проекты модернизации подсистемы АЗРТ (аварийной защиты реактора по технологическим причинам), модернизации системы подачи химически обессоленной воды и другие. Sosnovoborsky VNIPIET принял участие в разработке СНТВ — системы надежного технического водоснабжения.

— **Какие активные и пассивные системы безопасности создаются на блоке, в процессе продления эксплуатации?**

— Боюсь уйти в техническую терминологию, но без этого ответить на вопрос сложно. Назову лишь важнейшие из этих систем.

САОР, которая предназначена для отвода тепла от активной зоны реактора при разрыве трубопроводов КМПЦ (контура многократной принудительной циркуляции), питательных трубопроводов и паропроводов, а также в аварийных ситуациях, связанных с непопадкой ГПК (не закрытием главного предохранительного клапана) и нарушениями в подаче питательной воды. САОР включает в себя быстроедействующую систему (БД САОР) и систему длительного расхолаживания (ДР САОР).

Функция безопасности БД САОР — подача воды в РГК (раздаточные групповые коллекторы) в первоначальный период аварии в течение не менее 120 секунд для предотвращения перегрева оболочек ТВЭЛов и труб ТК.

Основная функция безопасности ДР САОР — подача воды в каждый РГК.

СДР САОР включается в работу на полную производительность не позднее двух минут с момента аварии или с момента нарушения в подаче питательной воды. Первоначальный запас воды достаточен для аварийного охлаждения реактора в течение не менее 8 часов.

Система аварийного охлаждения реактора оснащена также и необходимыми вспомогательными системами, такими как система заполнения и подпитки, система контроля и поддержания давления воздуха в сосудах САОР гидроаккумулирующих узлов БД САОР, система опорожнения емкости САОР и сосудов САОР, система пробоотбора, система сжатого воздуха, система охлаждения насосов ДР САОР, система подачи ХОВ в систему САОР от модернизированной АВПТ.

К таким же системам можно отнести и системы аварийного электроснабжения (САЭ), и надежного питания потребителей нормальной эксплуатации (СНПНЭ), важные для безопасности.

Во время продления сроков службы 1 и 2 блоков ЛАЭС произведен анализ существующих схем нормального и надежного электропитания собственных нужд блоков, а также проведена реконструкция системы надежного питания и разработана система аварийного электроснабжения САЭ отдельно для каждого блока.

Система аварийного электроснабжения предназначена для обеспечения электроэнергией потребителей систем безопасности атомной станции во всех режимах работы, в том числе при потере рабочих и резервных источников от энергосистемы.

— **Изменяются ли при продлении срока эксплуатации существовавшие системы управления, аварийной защиты и контроля?**

— На блоке 1 и 2 такие изменения были произведены.

В частности, внедрение КСУ АР обеспечивает управление системой безопасности в автоматическом режиме без вмешательства операторов в течение 10 мин. с момента аварии, чтобы исключить человеческий фактор.

Разработана и введена в эксплуатацию комплексная система управления аварийным расхолаживанием (КСУ АР), которая предназначена для управления системами безопасности — аварийного охлаждения реактора (САОР), надежного технического водоснабжения (СНТВ), установкой запаса ХОВ (химически обессоленной воды), системой подачи ХОВ от АВПТ (автоматического водяного пожаротушения).

Для реализации принципов резервирования объекты управления технологических систем САОР и СНТВ были разбиты на три взаиморезервируемые группы, запитанные от разных каналов САЭ. Структурой КСУ АР исключается возможность потери управления двумя или тремя группами по общей причине.

Аппаратура, формирующая команды автоматического и дистанционного управления технологическим оборудованием, выполнена в виде трех каналов (с учетом принципа резервирования, реализованного в управляемых технологических системах), не имеющих отказов по общей причине.

Выполнена реконструкция подсистемы АЗРТ (аварийной защиты реактора по технологическим причинам), назначение которой прием информации от датчиков и оборудования систем энергоблока, характеризующей безопасную эксплуатацию реакторной установки, ее обработку, формирование воздействий в систему СУЗ (система управления и защиты) и в технологические системы энергоблока.

Реализованы требования к надежности в организации независимости измерительных каналов, принадлежащих разным комплектам подсистемы АЗРТ. Независимость измерительных каналов подразумевает независимый отбор среды к разным комплектам, раздельную прокладку импульсных трубопроводов, размещение первичных преобразователей в отдельных помещениях.

Установочные конструкции выполнены в сейсмостойком варианте.

— **Одним словом, готовы ли вы поручиться за безопасность работы блоков, прошедших все процедуры продления срока эксплуатации?**

— Я несу ответственность за ту работу, которую выполняет коллектив нашего предприятия. Но, я уверен, что при грамотной эксплуатации и контроле блоки безопасно отработают весь запланированный срок и выработают еще очень много электроэнергии, столь необходимой для развития экономики и промышленности в нашем регионе.

Подготовила Татьяна Григорашенко

Ожидания от проекта «АЭС-2006»



А.А.Провирнов,
ВНИИАЭС, г. Москва



В.Н.Нуждин,
ВНИИАЭС, г. Москва

Эксплуатируемые в настоящее время блоки АЭС относятся к реакторным установкам II поколения, разработанным 30–40 лет назад. Выявленные в процессе эксплуатации недостатки и недоработки позволили разработать требования к реакторным установкам III и IV поколений.

К реакторам IV поколения в настоящее время предъявляются повышенные требования по безопасности, надежности, экономичности и конкурентоспособности с энергетическими системами неядерных отраслей. Основным требованием безопасности реакторных установок IV поколения является внедрение в проект принципа внутренне присущей безопасности, интегральности, модульности и пассивных принципов систем безопасности.

Проекты реакторных установок II поколения эволюционно подвергались постоянной модернизации, отчасти в соответствии с постоянным ужесточением требований по безопасности. В то же время, постоянное повышение уровня безопасности эволюционным путем может привести к неограниченному росту стоимости обеспечивающих систем, не участвующих напрямую в функции выработки электроэнергии. Например, в последних российских проектах количество систем безопасности АЭС увеличено с 3-х до 4-х, добавлена система улавливания и охлаждения расплавленной активной зоны вне реактора и пассивная система отвода тепла от активной зоны и т.д. с сохранением активных систем безопасности. Повышаются также и требования к надежности систем безопасности, что приводит к увеличению коэффициентов готовности и, как следствие, к удорожанию их обслуживания.

Эволюционное развитие проектов и механистическое повышение количества систем безопасности без изменения принципа подхода к безопасности блока приводит к неоправданному усложнению проекта и увеличению в проекте доли оборудования, не участвующего в выполнении функции выработки электроэнергии. Это, в свою очередь, приводит к неоправданному усложнению системы управления блоком, что в принципе может привести в конечном итоге к уменьшению характеристик безопасности блока, так как до конца еще не изучена степень влияния управления сложной системой на ее безопасность. Например, по сравнению со стандартным блоком В-320 (данные с 4 блока Балаковской АЭС, проект 80-х годов), 1 блок АЭС «Тяньвань» в Китае и 1 блок АЭС «Куданкулам» в Индии имеют при одинаковой мощности в 1000 МВт и однотипности проекта количество механизмов, арматуры и точек контроля существенно больше, а вместе с этим возрастает стоимость блока, увеличивается объем монтажных и пусконаладочных работ и срок строительства. В то же время, в заявленном проекте США AP-1000 декларируется существенное сокращение единиц оборудования по сравнению с блоком-прототипом.

Одна из ведущих стран в области ядерной энергетики, США, в последние 25 лет занимается только исследовательскими и проектными работами с целью поиска наиболее оптимальной и конкурентоспособной реакторной установки. Интересно, что американцы в течение последних 25 лет не строили новых АЭС. Тем не менее, за эти 25 лет, достраивая старые станции и улучшая эксплуатационные характеристики существующих станций, они увеличили выработку электроэнергии на атомных электростанциях с 240 млрд киловатт-часов в год до 750, в первую очередь, за счет оптимизации топливного цикла и повышения КИУМ. США отказались от строительства реакторов III поколения, так как считают подобные проекты недостаточно безопас-

ными, неэкономичными и неконкурентоспособными и проводят исследования реакторов IV поколения и поколения III+. В развитие этой идеи Вестингауз разработал стандартную конструкцию реактора поколения III+ мощностью 600 МВт (AP-600), который был одобрен Комиссией по ядерному надзору США (NRC) в 1999 г.

Международным консорциумом во главе с Вестингауз разрабатывается АЭС с интегральным реактором IV поколения на 300–330 МВт электрических – IRIS. Компания полагает, что продвижение на рынок реакторов нового поколения – более компактных, дешевых и безопасных, сооружаемых по модульному принципу – повысит их конкурентоспособность и ослабит позицию противников атомной энергии. AP-600 имеет вдвое меньше клапанов, на 80% меньше труб, на 70% меньше кабелей управления, на 35% меньше насосов и на 45% более сейсмоустойчив, чем существующие реакторы. На действующей электростанции реактор AP-600 может быть построен за 3 года. Для увеличения экономичности АЭС в США компания «Вестингауз» разработала модель реактора AP-1000 мощностью 1000 МВт эл., основанный на принципах, заложенных в AP-600, в том числе, за счет полумиллиардного государственного кредита.

30 декабря 2005 г. NRC утвердила Сертификат на проект унифицированной АЭС с реактором AP-1000, разработанный компанией «Вестингауз». Это первый проект реактора поколения III+, утвержденный NRC. Трудозатраты на разработку и обоснование концептуального проекта AP-600/1000 составили 1300 человеко-лет конструкторских и экспериментальных работ, в частности, к моменту завершения около 60% работ по проекту было разработано свыше 12000 проектно-конструкторских документов. Две эксплуатирующие организации США выбрали проект AP-1000 для подготовки заявки в NRC на получение единой лицензии на строительство и эксплуатацию (Construction and Operation License – COL). Компания Duke Power планировала определить в январе 2006 г. площадку сооружения двух энергоблоков AP-1000 и подготовить заявку в NRC в течение 24–30 месяцев [17].

Компания General Electric разрабатывает установку с «кипящим» реактором ESBWR (Economic Simplified Boiling Water Reactor) поколения III+. Эта установка стала первой за последние 25 лет, которую собираются построить на трех площадках в США. В случае получения лицензий в 2007 или 2008 гг., строительство могло бы начаться к 2010 или 2011 гг. Проект ESBWR разработан на принципах пассивных систем безопасности и с существенным упрощением проекта, что позволило сделать его более безопасным и более рентабельным, с сокращением срока строительства и затрат [1].

Российским аналогом AP-600 является проект ВВЭР-640, который не уступает AP-600 по уровню безопасности и использованию пассивных принципов безопасности, но незаслуженно забыт проектировщиками. Для обоснования безопасности ВВЭР-640 была построена экспериментальная установка на площадке НИТИ (г.Сосновый Бор), позволяющая моделировать процессы в контейнменте при авариях с потерей теплоносителя и работу пассивных систем безопасности. Оценка стоимости сооружения АЭС с ВВЭР-640 в условиях США была проведена в работе «Совместное параллельное исследование альтернатив развития ядерной энергетики для России 1995 г.», выполненной в соответствии с решением комиссии Гор – Чернобырдин. От США в этой работе участвовали: Министерство энергетики (DOE), Брукхевенская Национальная лаборатория (BNL), проектная организация «Raytheon Engineers and Constructors». От России: Минатом, РНЦ КИ, АЭП и др.

По американским методикам для площадки в США оценка удельных капитальных вложений для строительства АЭС с двумя блоками ВВЭР-640 составляет 1833 дол/кВт.

В отечественной атомной энергетике имеется 35-летний опыт создания АЭС с ВВЭР в России и за рубежом (Финляндия, Германия, Чехия, Словакия, Болгария, Китай, Индия), что является прочным фундаментом для реализации целей и задач проекта АЭС-2006 [4].

Эксплуатация АЭС с установками типа ВВЭР составляет [4]:

- АЭС с ВВЭР-440 более 430 реакторо-лет;
- АЭС с ВВЭР-1000 более 130 реакторо-лет.

На этом опыте разработаны проекты АЭС с унифицированной реакторной установкой ВВЭР-1000 для применения под индексами В-392Б [7] в России, В-428 в Китае, В-412 в Индии. Результаты разработки проектов АЭС с ВВЭР-1000 создают благоприятные условия для разработки проекта современного блока с водо-водяным реактором на 1000–1200 МВт эл. В основу проекта должны быть положены технические решения проектов АЭС с ВВЭР-1000, АЭС 91/99 [19], ВВЭР-1500 и ВВЭР-640.

Кроме того, в проекте в полной мере должен быть учтен опыт эксплуатации действующих энергоблоков ВВЭР-1000 (РУ В-320), включая учет рекомендаций миссий МАГАТЭ.

Имеющаяся в России стендово-экспериментальная база, выполненные и выполняемые НИР и ОКР в обоснование АЭС с ВВЭР-1000, ВВЭР-1500 и ВВЭР-640, позволят свести к минимуму затраты на проектирование и обоснование АЭС-2006.

На первом этапе принято решение приступить к строительству двух блоков на площадках Ленинградской АЭС на базе РУ В-428 и Нововоронежской АЭС на базе РУ В-412, проведя предварительно унификацию проектов по основным компонентам оборудования АЭС. В дальнейшем предполагается на базе опыта проектирования, строительства и эксплуатации этих блоков разработать унифицированный серийный проект «АЭС-2006».

Ситуация напоминает конец семидесятых годов, когда в СССР создавался унифицированный серийный проект В-320 с головным блоком на Запорожской АЭС. Но прежде, чем создать этот проект, были построены головные блоки с ВВЭР-1000 на Нововоронежской АЭС (РУ В-189), на Южно-Украинской АЭС (РУ В-302), на Калининской АЭС (РУ В-338), которые были переходными проектами от ВВЭР-440 к ВВЭР-1000. На этих установках были отработаны основные принципы, которые легли в основу унифицированного серийного проекта РУ В-320. Какие принципы хотелось бы видеть при проектировании «АЭС-2006»:

- безопасность на уровне реакторов IV поколения или поколения III+;
 - модульность конструкции;
 - экономическая эффективность и конкурентоспособность;
 - современная система контроля и управления АЭС с современными БПУ и РПУ, отвечающими всем требованиям к человеко-машинному интерфейсу;
 - внедрение информационных технологий в процесс проектирования, строительства и эксплуатации АЭС (внедрение систем поддержки жизненного цикла АЭС).
- На сегодняшний день в рамках международной программы «Поколение IV» сформулированы следующие принципы безопасности реакторов IV поколения [20]:
- внутренне присущая безопасность или безопасность непосредственно «внедренная» в проект;
 - интегральная конфигурация, обеспечивающая:
 - физическую возможность исключения некоторых типов аварий,
 - уменьшение вероятности возникновения большинства сценариев аварий,
 - уменьшение последствий аварий, в том числе и тяжелых,
 - усиление защиты от терроризма;
 - обеспечение срабатывания пассивных систем

за счет запасенной потенциальной энергии (перепад высот, сжатый воздух, разность давлений и др.) и энергии аккумуляторных батарей;

- сохранение работоспособности систем безопасности, однажды приведенных в действие, которые продолжают выполнение операций на основе только естественных сил (сила тяжести, естественная циркуляция, тепловая труба), без двигателей, вентиляторов, дизелей и т.д.;
- автоматическое исполнение функций безопасности системами без воздействия на них со стороны оперативного персонала.

Кроме того:

- активные системы, не связанные с безопасностью, должны иметь подсистемы безопасности, основанные на пассивном принципе, обеспечивающие выполнение функции ядерной безопасности;
- отвод тепла от активной зоны к конечному поглотителю должен быть обеспечен с таким расчетом, чтобы охлаждение активной зоны осуществлялось в автоматическом режиме в течение нескольких дней без воздействия оперативного персонала или помощи с внешней стороны;
- должны применяться дополнительные системы, основанные на других физических принципах, обеспечивающие минимизацию вероятности разрушения активной зоны и выхода радиоактивных продуктов деления за установленные границы в количествах, превышающих установленные пределы.
- Оптимизация человеко-машинного интерфейса.

Очевидно, что полностью удовлетворить требованиям по безопасности реакторов IV поколения не представляется возможным, так как осуществить, например, принцип интегральности при мощности в 1200 МВт в настоящее время проблематично. Однако решения проекта ВВЭР-640 в области принципов пассивной безопасности целесообразно применить и для проекта «АЭС-2006».

Не будем останавливаться на конкретных системах, которые целесообразно применить в новых проектах. Это тема отдельного исследования. Перечислим только известные на сегодняшний день решения:

- Система принудительного снижения давления 1-го контура;
- Система пассивного отвода тепла (СПОТ) от первого контура;
- Система пассивного ввода борированной воды в 1-й контур;
- Пассивные инжектор-конденсаторы в качестве высокоэффективных смешивающих теплообменников с отрицательным или нулевым гидравлическим сопротивлением или насосов пассивной подачи охлаждающей воды при помощи водяного пара [9].

Главной проблемой обеспечения безопасности АЭС остаются компоновочные решения, без изменения которых невозможно внедрение пассивных систем безопасности. Можно понять консерватизм проектантов, которые, сохраняя основные компоновочные решения В-320, стремятся повысить безопасность АЭС с помощью дополнительных систем, так как изменение компоновочных решений тянет за собой хвост дополнительных сложных и дорогостоящих расчетных и экспериментальных обоснований. Однако здесь вступает в противоречие принцип экономической эффективности и конкурентоспособности. Процесс строительства АЭС на сегодняшний день занимает период в 7–8 лет. Этот показатель значительно отличается от времени строительства, например, газовых электростанций. Длительный срок строительства снижает привлекательность инвестирования в строительство АЭС, снижает конкурентоспособность АЭС, приводит к длительному замораживанию средств и увеличению стоимости капитальных вложений. Очень часто график строительно-монтажных работ нарушается, что приводит к значительным задержкам пуска АЭС. Например, задержка в пуске АЭС «Белен» может вызвать штрафные санкции до 600 тысяч долларов США в день. В то же время, заявленный темп ускоренного ввода АЭС в России требует нетрадиционных подходов в процессе проектирования и строительства. Одними из основных способов снижения срока строительства и монтажа блоков АЭС могут быть:

- использование CALS-технологии при проекти-

ровании и строительстве АЭС;

- внедрение новых технологий и современных систем;
- оптимизация и упрощение проекта (без ущерба безопасности);
- применение полномасштабных моделей энергоблока АЭС для проверки проектных решений на ранней стадии проекта (создание виртуальной модели энергоблока);
- унификация применяемого оборудования;
- современные методы ускоренного строительства, монтажа и пусконаладочных работ (анализ потерь времени строящихся АЭС);
- метод модульного монтажа АЭС, смещение основных монтажных работ на площадку завода-изготовителя, простота монтажа, удобство ремонта и замены оборудования при необходимости;
- учет российского и зарубежного опыта эксплуатации.

Процесс проектирования должен быть комплексным и охватывать все стороны процесса производства энергии, а проектные решения должны охватывать все аспекты жизненного цикла АЭС, которые включают, кроме вышеперечисленных, следующие принципы:

- удобство обслуживания (или отсутствие необходимости в обслуживании);
- эффективность утилизации.

Перечисленные принципы должны лежать в основе проектирования АЭС-2006. Каждый узел, каждый элемент должен быть подвергнут анализу на соответствие этим принципам, так как срок жизни блока в 50–60 лет удорожает применение неэффективных решений. Иными словами, модернизация АЭС не должна начинаться через 1 год после пуска станции. Основной упор в этом случае лежит на концептуальном проекте. Именно в концептуальном проекте могут быть заложены морально устаревшие решения, которые проявляются уже на начальном этапе эксплуатации и требуют постоянного вложения средств на поддержание работоспособности АЭС.

Наибольший эффект для ускорения строительства может дать принцип модульности конструкции, который позволяет осуществить смещение части монтажных работ на площадку завода-изготовителя, что, в свою очередь, положительно сказывается на культуре производства и общей безопасности и уменьшает стоимость и сроки монтажных и пусконаладочных работ.

Это можно наблюдать на примере пока нереализованного проекта AP-1000. Как отметил Джек Аллен, старший вице-президент по эксплуатации АЭС фирмы «Вестингауз», в реакторе AP-1000 используется значительно меньше насосов, трубопроводов, клапанов и кабелей, что облегчит монтаж и техническое обслуживание установки. Кроме того, блок будет строиться по модульной схеме, это намного повысит качество монтажа и сократит время строительства до тридцати шести месяцев – с момента заливки первого бетона до загрузки топлива в реактор. По оценке Вестингауз, себестоимость строительства блока с реактором AP-1000 будет колебаться в пределах 1000–1200 долларов за киловатт установленной мощности [16].

Стандартный блок AP-1000 состоит из 50 больших и 250 малых модулей. Малые модули размером 3,7 x 3,7 x 24,4 м и весом 80 т можно перевозить по железной дороге. Примером большого модуля являются стальные модули защитной оболочки, из них наиболее тяжелый кольцевой модуль диаметром 39,6 м весит 658 т [17].

В проекте AP-1000 по сравнению с обычной АЭС сходной мощности сокращено: число клапанов – на 50%, трубопроводов – на 80–83%, кабелей – на 70–87%, насосов – на 35% (число насосов на энергоблоке AP-1000 составляет 180 агрегатов), а объем сейсмостойких зданий – на 45–56% [17]. На рисунке 1 это наглядно представлено.

Одним из основных вопросов проектирования АЭС-2006 является повышение эффективности выработки электроэнергии, которая складывается из следующих составляющих:

- эффективность использования топлива – оптимизация активной зоны;
- повышение КПД брутто блока;
- повышение КПД нетто (уменьшение энергозатрат АЭС на собственные нужды, уменьшение теплопотерь, уменьшение протечек пара и т.д.);
- уменьшение эксплуатационных расходов (например, число работающих на российских АЭС на сегодня – 1,4 человека/кВт, на Украине, на энергоблоках, аналогичных нашим, – 0,5 человека/кВт, а во Франции – 0,3 человека/кВт) [22];
- повышение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ).

Необходимо отметить, что отечественные активные зоны ВВЭР-1000 предыдущих проектов пока

уступают западным аналогам по своим экономическим показателям. Основная задача – приблизиться по основным характеристикам к показателям активных зон PWR, для чего необходимо:

- уменьшить использование нержавеющей стали в качестве конструкционного материала для дистанционирующих решеток и направляющих каналов (около 2 т в активной зоне ВВЭР-1000);
- внедрить выгорающий поглотитель нейтронов в топливо, как в большинстве PWR;
- уменьшить утечку нейтронов с помощью оптимизации схемы перегрузок топлива.

Указанным характеристикам отвечает усовершенствованная тепловыделяющая сборка (УТВС), разработанная в ОКБ «Гидропресс» совместно с

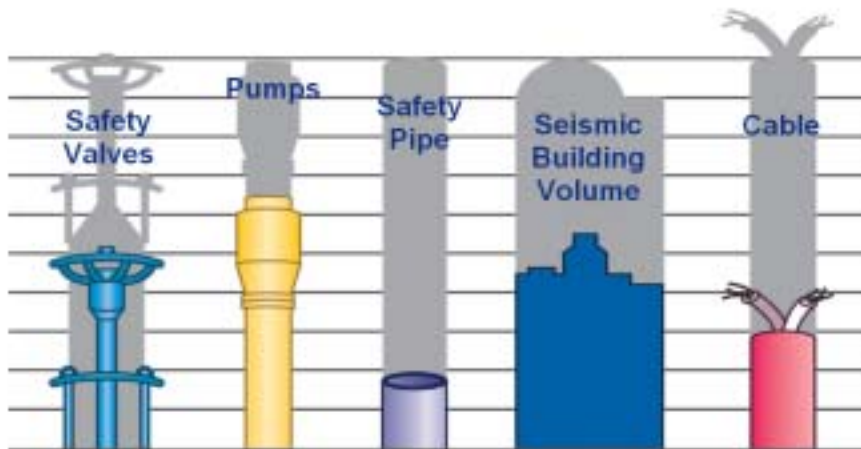


Рис. 1

ОАО «ТВЭЛ», и выпускаемая Новосибирским заводом химических концентратов (НЗХК) [8]. Опыт эксплуатации активной зоны из указанных сборок на Волгодонской (ранее Ростовской) АЭС по данным [8] в течение трех топливных кампаний показал перспективность этой УТВС. Использование удлиненных до 4,5 м твэлов должно уменьшить линейное энерговыделение и частично поднять мощность, однако эта разработка должна еще пройти экспериментальную апробацию.

Абсолютный термический КПД турбины на насыщенном паре зависит от давления острого пара примерно в следующей пропорции (при давлении в конденсаторе 0.004 МПа [3]):

Давление в ГПК, МПа	2,5	5,0	7,5	10,0	16,0
Термический КПД, %	31,0	35,0	37,0	38,0	39,0

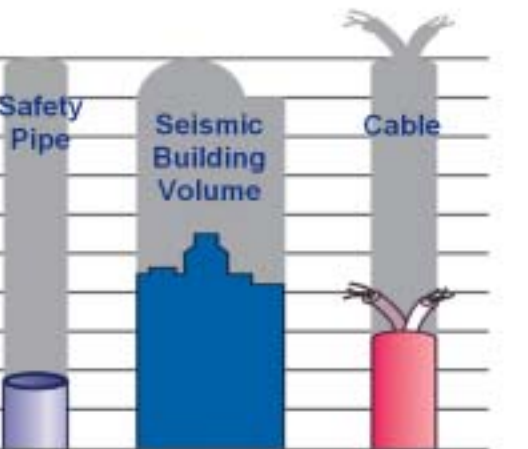
Значительная зависимость наблюдается до давления 7,5 МПа. Дальнейшее увеличение давления не приводит к заметному изменению термического КПД. Увеличение давления требует увеличения материалоемкости, и здесь необходимы оптимизационные экономические расчеты для выбора оптимального давления. В некоторых инновационных проектах IV поколения (например, IRIS) авторы сознательно не повышают давление, однако используют перегрев около 40°C, что позволяет повысить среднюю сухость пара и, тем самым, в итоге повысить КПД больше, чем был бы выигрыш от повышения давления (увеличение влажности на 1% уменьшает внутренний КПД турбины на 1%). Кроме этого, повышенная влажность приводит к эрозии лопаток и снижению надежных характеристик турбины. Таким образом, только оптимизационные исследования позволяют найти оптимальное давление в ГПК турбины.

Вторым фактором, повышающим КПД брутто, является поддержание оптимального давления в конденсаторах. Основным фактором, ухудшающим КПД, являются присосы в конденсаторе, и борьба с ними уже на этапе проектирования может сыграть решающую роль. Расчетные присосы воздуха для проекта В-320 составляют 130 кг/час, однако по данным [3] реальные присосы в процессе эксплуатации составляют 200–250 кг/час. Программа модернизации существующих АЭС включает внедрение системы шарикоочистки, позволяющей своевременно удалять отложения и поддерживать требуемый вакуум. Подобная система должна быть заложена в проекте АЭС-2006.

Третьим фактором повышения эффективности энерговыработки является оптимальная схема отборов. Здесь большую роль должен сыграть опыт эксплуатации АЭС. Например, на первых турбинах с ВВЭР-1000 было спроектировано 3 подогревателя высокого давления (ПВД), однако опыт эксплуатации показал неэффективность одного из трех ПВД, и в дальнейшем от него отказались. На западном рынке предлагаются интерактивные системы, работающие в режиме реального времени, позволяющие рассчитывать оптимальные режимы в зависимости от реальной нагрузки по теплу и электроэнергии и позволяющие повысить эффективность выработки электроэнергии.

В практике эксплуатации энергоблоков весьма важно знать, как изменятся технико-экономические показатели выработки электроэнергии при отклонениях значений параметров рабочего тела от проектных.

Для оперативного персонала АЭС значительную роль играет возможность постоянного контроля состояния тепломеханического оборудования по штатной аппаратуре измерения параметров рабочего тела, что позволяет своевременно принимать необходимые меры по обеспечению надежности оборудования и предотвращению снижения экономичности выработки электроэнергии, а также определять необходимость проведения профилактического осмотра и ремонта элементов турбоустановки.



Снижение выработки электроэнергии из-за отклонения среднегодовой температуры циркулирующей воды (22°C) от проектной (15°C) составляет 1,8% (в летний период – 4,9%) [3]. Снижение выработки электроэнергии из-за ухудшения работы теплообменной поверхности конденсаторов турбин – 3,5% [3]. Снижение выработки электроэнергии из-за ухудшений работы оборудования, нарушений и отказов в работе составляет примерно 7% [3].

Для АЭС с ВВЭР-1000 [3] основные потребители собственных нужд составляют 4,4–6,5%, для РУ В-392Б этот показатель составляет по данным [7] 5,9%. Из них:

Оборудование	%
Питательные насосы	1,5–2,0
Главные циркуляционные насосы	1,25–2,0
Циркуляционные насосы конденсаторов	0,75
Конденсатные насосы	0,2
Теплоэлектронагреватели компенсатора давления	0–0,1

Бытует мнение, что использование турбопитательных насосов (ТПН) повышает экономичность установки в целом, однако этот вопрос требует отдельного исследования. Например, абсолютное давление в конденсаторах турбин ТПН выше, чем в основных конденсаторах, что не в пользу большей эффективности. Если же учитывать сложность всей установки, зависимость от параметров пара в коллекторе собственных нужд или в отборе, то, возможно, вариант с электронасосами будет более прост и более экономичен. В любом случае, следует внимательно изучить опыт работы АЭС с ВВЭР-440 и АЭС «Тяньвань» с ВВЭР-1000, где применены электронасосы для подачи питательной воды в парогенераторы.

Возможно, что использование пароструйных аппаратов (ПСА) в качестве смешивающих подогревателей и пассивных вспомогательных конденсатных насосов позволит повысить термический КПД турбины, уменьшить материалоемкость систем второго контура и уменьшить мощность, потребляемую конденсатными насосами.

Одним из резервов повышения мощности блока и отпуска большего количества электроэнергии может быть использование тепловых насосов для отопления служебных помещений АЭС и поселка. По данным [5] для невысоких параметров горячей воды использование тепловых насосов может привести к существенной экономии первичного топлива при соотношении отпускаемого тепла к мощности насосов прокачки рабочего тела теплового насоса более 3. В качестве источника тепла для теплового насоса может служить циркулирующая вода на выходе из конденсаторов, сбрасываемая в настоящее время без использования. Существенно, что эта добавка будет осуществляться в осенне-зимний пик нагрузки.

В проектных организациях имеется опыт проектирования блоков с использованием PLM (Product Lifecycle Management) системы, например, SMARTPLANT, CATIA, VANTAGE, которая позволяет поддерживать 3-D геометрическую модель проектируемого блока. Технология VIRTА – Виртуальная АЭС позволяет внедрить автоматический

интерфейс геометрической модели с физической моделью блока и таким образом параллельно с геометрическим проектированием в 3-D создавать полномасштабную модель блока для интерактивной проверки проектных решений, поиска ошибок проектирования и т.д. В этом случае можно говорить о полномасштабной модели жизненного цикла АЭС, которая будет сопровождать процессы создания, эксплуатации и утилизации АЭС. Стандартная система проектирования на базе PLM (Product Lifecycle Management) системы может позволить:

- сократить время проектирования на 50%;
- уменьшить количество ошибок при передаче данных для заказа оборудования и материалов на 90%; сократить время поиска и извлечения данных на 40%; сократить время планирования поставок оборудования и материалов на 70%; сократить стоимость информации на 15–60%;
- сократить время на изменение технической документации в процессе эксплуатации на 30%; сократить время планирования операций по техническому обслуживанию и ремонту на 70%; снизить стоимость технической документации на 10–50%.

Заключение

По данным [10] «новое изучение автомобиля как физической системы привело к поразительному выводу: инженеры в Детройте, Вольфсбурге, Каули и Осаке стали настолько узкими специалистами, что знали почти все о почти ни о чем; вряд ли кто-нибудь из них смог бы самостоятельно сконструировать автомобиль целиком. Терялась имеющаяся принципиальная взаимосвязь между элементами конструкции. Проектировщики слишком много думали о мелких деталях и слишком мало об автомобиле, как о системе. Промышленность за скрупулезным вниманием к детали потеряла из виду технику создания цельной системы – технику, которая чрезвычайно проста и именно поэтому очень трудна». Возможно, что нечто подобное происходит и в атомной промышленности. Наступила пора по-новому взглянуть на проект АЭС, как на единую систему, и выстроить концепцию конструкции унифицированного блока, оптимальной по всем параметрам. Для этого необходимо использовать современные PLM технологии проектирования и системно-аналитический подход к процессу проектирования. России необходим конкурентный проект блока с ВВЭР-1000, в противном случае, существует риск, что площадки АЭС «Куданкулам» и «Тяньвань» останутся единственными площадками с российскими проектами АЭС на таких перспективных рынках, как Индия и Китай, а российский инвестор предпочтет строить в России AP-1000, как более экономичный и безопасный.

Литература: 1. http://www.ge-energy.com/about/press/en/2006_press/051606_b.htm 2. <http://www.beaconpower.com/> 3. «Нормативные характеристики оборудования энергоблока 1000 МВт Запорожской АЭС с реакторной установкой В-320 и турбиной К-100-60/1500 ПОАТ ХТЗ», отчет, 1989 г., г. Энергодар. 4. М. Рогов, А. Корниенко, Усовершенствованные и инновационные проекты в стратегии развития концерна «Росэнергоатом», Ежемесячный журнал атомной энергетики России «Росэнергоатом», № 3, 2004 г. 5. «Размышления о некоторых проблемах энергетики», Лауреат Международной энергетической премии «Глобальная энергия» 2004 года, почетный директор Института высоких температур РАН, академик А.Е.Шейндин. 6. Регулирование рынка. Регламенты рынка (НОРЭМ), Приложение 13. Регламент определения готовности генерирующего оборудования участника оптового рынка к выработке электроэнергии, <http://www.np-ats.ru/index.jsp?pid=203> 7. Драгунов Ю.Г. и др., ОКБ «Гидропресс», «Усовершенствованная реакторная установка с ВВЭР-1000 (учет опыта проектирования и эксплуатации при разработке реакторной установки В-392Б)», 4-я Международная конференция, Москва, ВНИИАЭС, 16–17 июня 2004 г. 8. Поваров В.П. и др., Волгодонская АЭС, «Результаты эксплуатации ядерного топлива на энергоблоке № 1 Ростовской АЭС», 4-я Международная конференция, Москва, ВНИИАЭС, 16–17 июня 2004 г. 9. Пароводяные струйные аппараты ПСА, НПО «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», <http://www.newt.spb.ru/index.php?categoryid=13> 10. Эрнст фон Вайцеккер, Эймори Б.Ловинс, Л.Хантер Ловинс, «Фактор четыре затрат – половина, отдача – двойная», Новый доклад Римскому клубу, Перевод А.П.Заварницына и В.Д.Новикова под редакцией академика Г.А.Месца, 2000 г. 11. А.А.Архушта, И.И.Копытов, А.С.Коршунов, ФГУП «Атомэнергопроект», Г.В.Аркадов, А.И.Айзатуллин, А.П.Жукавин, А.Е.Крошилин, А.О.Ковалевич, В.Н.Майданик, А.А.Провиринов, К.А.Тимофеев, И.В.Федоров, ОАО «ВНИИАЭС», «VIRTА® – Виртуальная АЭС» – CALS-технология поддержки жизненного цикла АЭС. 12. The AREVA and Siemens consortium is awarded by TVO a contract to build an EPR nuclear power plant, AREVA Press release, Paris, December 18th, 2003. 13. Westinghouse select GSE Simulation Technology for AP-1000 Reactor Design, GSE Release, 07 April 2005. 14. Проектирование щитов управления атомных электростанций, МЭК964, 1989. 15. Атомные электростанции – Блочный щит управления – Верификация и валидация проекта, МЭК1771, 1995. 16. <http://www.etp.ru/mv/news/news/index.php?from4=109&id4=13> 17. Токмачев Г.В. «АЭС с реактором AP1000 компании «Westinghouse», обладающая повышенной экономичностью и безопасностью. Журнал «Атомная техника за рубежом», № 5, 2006, УДК 621.039.58 (<http://www.atom.gov.ua/ua/stcenter/apubs?m=pubs&t=rec&id=14033>) 18. Е.Ракова, Р.Джучи, «Экономические аспекты развития атомной энергетики в Беларуси», Отчет для немецкой экономической группы в Беларуси (GET), ноябрь 2005 г., г.Минск, (wp_ee_11a_nuclear_power_belarus_report_ru.pdf) 19. С.В.Онуфриенко. «Уроки Тяньваня. Новый проект АЭС 91/99», «Атомная стратегия», ноябрь 2005 г. 20. A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, Technical Roadmap Report, Sept.23.2002, Nuclear Energy Research Advisory Committee. 21. С.Обозов. «От масштабных задач откровенно захватывает дух», газета «Ведомости», 27.09.06 г. 22. О.Ларько. «Не так страшно АО, как желанно». Ежемесячный журнал атомной энергетики России «Росэнергоатом», № 7, 2006 г.

Лучевые болезни поражают не только атомщиков



С.Н.Демин, д.м.н.,
ФГОУ ГРОЦ Росатома,
Санкт-Петербург



Т.Н.Тауров, к.т.н.,
ФГОУ ГРОЦ Росатома,
Санкт-Петербург

Ежегодно от несчастных случаев на производстве погибают около 6000 человек и более миллиона впервые признаются инвалидами. За последнее десятилетие зарегистрировано свыше 120 тысяч больных с впервые установленным диагнозом «профзаболевания», при этом 97% случаев пришлось на хронические заболевания (отравления), вызывающие ограничения профпригодности. Отмечаются утяжеление течения этих заболеваний и рост числа неблагоприятных исходов. В течение многих лет на предприятиях Минатома, обслуживаемых Третьим главным управлением МЗ СССР (ныне ФМБА России), регистрировались высокие уровни профессиональной заболеваемости.

Сравнение не в пользу военных

В таблице 1 представлены абсолютные величины впервые установленных профессиональных заболеваний у персонала Минатома России (по форме № 24).

С 1990 г. наметилась стойкая тенденция снижения этого показателя. Так, если в 1990 г. было 2,2, то в 1995 г. стало 1,4 на 10000 работающих [6]. Снижение отмечалось как среди рабочих форм профессиональной патологии, так и острых ее форм.

Наибольшие уровни профессиональной заболеваемости зарегистрированы в 1995 г., как и в предыдущие годы, среди работников судостроительной промышленности Министерства оборонной промышленности России – 8,2 на 10000 работающих и в авиационной промышленности этого же министерства – 9,7 на 10000 работающих. На предприятиях Минатома России было отмечено 0,6 на 10000 работающих, а среди работников АЭС отмечен всего один случай за год.

Значительное совершенствование условий труда и техники безопасности в атомной отрасли привело к практически полному отсутствию значимых острых радиационных поражений за последние годы.

Так, за период с 1999 г. только у одного работника системы Федерального агентства по атомной энергии зарегистрировано острое местное лучевое поражение с благоприятным исходом, а случаев острой лучевой болезни вообще не наблюдалось [7].

Осторожно – дефектоскоп!

Причем за этот же период времени в Российской Федерации специалистами клиники ГНЦ – Института биофизики проведено лечение 16 больных с острыми радиационными поражениями, из них в 6 случаях наблюдалась острая лучевая болезнь, а в 10 – лучевые поражения различной степени тяжести. В связи с этим обращает на себя внимание учащение случаев облучений сотрудников нефтегазовой отрасли, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения. В течение 1999–2004 гг. проведено лечение 10 дефектоскопистов с острыми радиационными поражениями из нефтегазовой отрасли. Это свидетельствует о необходимости организации системы радиационной безопасности в этой отрасли, что подтверждается при выяснении знаний этих пострадавших

по вопросам техники безопасности. Вместе с тем в нефтегазовой отрасли продолжают иметь место негативные тенденции, а именно: неустойчивое социально-экономическое положение большинства предприятий; организация мелких производств частными предпринимателями и юридическими лицами на условиях краткосрочной аренды с нарушениями санитарных норм и правил; отсутствие достаточного финансирования и экономической заинтересованности у работодателя в создании здоровых и безопасных условий труда и снижении профессиональной заболеваемости.

Следствием продолжающейся экономической и социальной нестабильности в нефтегазовой отрасли является: дальнейшее старение основных производственных фондов (60%); медленное внедрение наукоемких технологий; привлечение в производственную сферу наемной рабочей силы без соответствующей профессиональной подготовки и социальной защищенности.

Сохраняется тенденция к сокращению предприятиями объемов финансирования производственного контроля за соблюдением санитарного законодательства, а также мероприятий, направленных на улучшение условий труда, профилактику и снижение заболеваемости. На значительном количестве предприятий нефтегазовой отрасли работа по организации производственного контроля за условиями труда была организована только после применения к руководству мер административного принуждения со стороны органов Госсанэпиднадзора.

Анализ сложившейся ситуации позволяет предположить, что в ближайшие годы количество лучевых поражений в нефтегазовой отрасли может возрасти.

Согласно данным статистики, в 2004 году на учете в лечебных учреждениях ФМБА России, обеспечивающего медицинское обслуживание работников Росатома, состояло 1100 профбольных, заболевания которых связаны с воздействием ионизирующей радиации [7].

Болезнь-лидер

В настоящее время ежегодно среди работников Росатома регистрируется не более 60 случаев новых профзаболеваний. Следует подчеркнуть тот факт, что средний возраст данной группы больных превышает 60 лет и это, как правило, лица пенсионного возраста, которые в молодом возрасте работали на предприятиях, в основном на ПО «Маяк», но в течение ряда лет не работающие на опасных производствах. Количество работников Росатома, подвергающихся профессиональному облучению в дозе более 15 мЗв за 1995–1999 гг. (эквивалентная доза) и дозой более 20 мЗв за 2000 г. постоянно уменьшается. Удельный вес лиц, занятых в неблагоприятных условиях труда, составил 18,3%, а при повышенном уровне ионизирующего излучения (при выполнении отдельных операций) – 5,98%.

Этот факт дает основание предполагать дальнейшее снижение числа профбольных в системе Росатома от воздействия ионизирующих излучений.

В структуре профессиональной заболеваемости по Росатому первое место занимает виброшумовая патология (30%) и профессиональные кожные заболевания (дерматиты, экземы) от воздействия вредных химических веществ (30%). Далее следуют заболевания

органов дыхания (18,31) и прочие заболевания (злокачественные новообразования, заболевания костно-мышечной системы). Этот факт подчеркивает значимость санитарно-гигиенических, лечебно-профилактических мероприятий при данной патологии. Заболевания от воздействия радиоактивных веществ составляют лишь 5% от числа всех новых случаев профессиональных заболеваний работников Росатома.

Ежегодно впервые устанавливается от 7 до 15 случаев злокачественных новообразований, связанных с профессиональной деятельностью на предприятиях Росатома, которые представлены, в основном, раком легких [7].

Единичные случаи впервые установленного диагноза плутониевого пневмосклероза наблюдаются у стажированных работников Сибирского химического комбината (2004 г. – 3 случая), хронического токсического бронхита – у стажированных и бывших работников Московского завода полиметаллов, НПО «Луч», ВНИИХТ. Рак легких, связанный с профессиональной деятельностью, отмечается у работников Приаргунского производственного горно-химического объединения.

Анализ профессиональной заболеваемости на объектах, курируемых ФМБА России в Санкт-Петербурге, показал, что всего за последние годы в структуре профессиональной заболеваемости на первом месте – заболевания опорно-двигательного аппарата – 46,7%, острые интоксикации – 33,3%, хронические интоксикации – 13,3, заболевания органов дыхания – 6,7% [8, 9]. Профессиональной заболеваемости радиационного генеза не зарегистрировано, хотя уровень инвалидизации работников

несовершенство нормативно-правовой базы, федеральный уровень документов нередко не учитывает особенностей функционирования атомной отрасли;

- старение основных производственных фондов, несвоевременная замена оборудования, приборов и средств защиты из-за недостаточного финансирования;

- отсутствие экономической заинтересованности руководителей в создании и обеспечении безопасных условий труда;

- снижение производственной и технологической дисциплины.

Доступен, но опасен

Специального внимания заслуживает анализ структуры изменившихся в последние 30 лет профессиональных континентов, среди которых выявляются, хотя и немногочисленные, случаи общих и местных лучевых поражений. Это отнюдь не атомная промышленность и энергетика (два случая аварий критичности в Японии и России в 1997 и 2000 гг.) и не население зон аварийных радиационных выбросов.

Это ситуации, возникающие либо на мощных облучателях различного назначения (стерилизация, обработка материалов), либо при контакте с потерявшими контроль радиоактивными источниками на основе изотопов кобальта, цезия, иридия и др., используемыми в различных отраслях народного хозяйства (дефектоскопия, контроль технологических масс и объемов). Доступность последних, при нарушении правил эксплуатации и хранения, вовлекает

Период наблюдений	Спец. заболевания	Силикозы	Бериллозы	Хронич. бронхиты	Вибрационная болезнь	Дерматиты	Прочие	Всего
1945–55	2292	634	0	220	0	286	0	3432
1956–60	1638	1549	4	196	0	384	137	3908
1961–65	277	666	39	100	31	149	48	1310
1966–70	171	260	55	157	455	109	32	1239
1971–75	104	133	137	171	417	30	65	1057
1976–80	53	90	98	158	200	10	50	659
1981–85	74	21	127	270	92	5	13	602
1986–90	103	90	87	369	184	0	26	859
1991–93	53	11	34	234	123	4	40	499

Таблица 1. Абсолютное число впервые установленных профессиональных заболеваний у персонала Минатома России. (Спецзаболевания – радиационно-обусловленные раки, лучевая болезнь, лучевые ожоги и др., связанные с воздействием ионизирующей радиации)

радиационно-опасных производств имеет тенденцию к росту, что требует анализа атрибутивного риска в рамках «дозовой матрицы».

Исходя из уроков развития оборонного комплекса страны, оказание специализированной медицинской помощи пострадавшим в нештатных ситуациях и радиационных авариях не может быть эффективным без теснейшего взаимодействия со специалистами ФМБА России в плане установления поражающей дозы, анамнеза и прогноза поражения, снижения тяжести инвалидизации и профессиональных заболеваний [10, 11].

Расследования показали

В настоящее время основными недостатками в организации работ по охране труда и причинами профзаболеваний и производственного травматизма на предприятиях атомной отрасли на основании анализа статистических отчетов, материалов проверок и расследований несчастных случаев последних лет являются:

- неудовлетворительная организация работ, относящихся к категории повышенной опасности (до 20% от общего числа травм и до 40% смертельных);

- нарушение трудовой и производственной дисциплины (свыше 11% и 20% соответственно);

- неудовлетворительное техническое состояние зданий, сооружений, территории и недостатки в организации рабочих мест (свыше 10%);

в число участков таких аварий не только персонал, но и население, в том числе детей. Преобладают случаи местных лучевых поражений, иногда со значительной тяжестью клинических проявлений. Оценка доз облучения и условий воздействия зачастую осуществляется с опозданием, как и компетентное суждение об этиологии и характере клинического синдрома.

Систематизация и анализ этих наблюдений в последние годы становятся актуальными для всех стран. Информация о подобных случаях, иногда возникающих в результате криминальных ситуаций, представляет интерес для врачей общей практики и работников Роспотребнадзора. Кстати, федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека провела анализ поступившей информации о радиационных авариях в 2006 году (письмо от 08.02.2007 № 0100/1377-07-32) и сообщает, что в 2006 году произошло 170 (в 2005 г. – 151) радиационных аварий и инцидентов. Из них в 95 – 55,8% (96) случаях обнаружены источники ионизирующего излучения в металлоломе, при этом 59 (39) партий сопровождалась санитарно-эпидемиологическими заключениями о соответствии продукции требованиям СанПиН.

В 2006 году зарегистрированы:

- 50 (39) случаев нахождения источников ионизирующего излучения в объектах окружающей среды и у граждан,

- 14 (9) случаев обнаружения участков с аномальным радиоактивным загрязнением,
- 4 (4) случая утери контроля над источниками при скважинно-буровых работах,
- прочие инциденты составляют 11 происшествий.

Ситуации на максимальных по активности облучательских установках отличаются, как правило, значительной тяжестью и могут приводить к фатальному исходу.

В прошедшем году на одном из металлургических комбинатов при ремонте рентгеновского спектрометра инженер по обслуживанию установки получил местные лучевые поражения кистей рук и в настоящее время проходит лечение в специализированной клинике.

О комплексе мер

В целом для повышения уровня обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации необходимо совершенствовать нормативную базу для повышения готовности к реагированию в случае радиационных аварий, инцидентов и применения радиоактивных веществ в террористических целях, а также развивать материально-техническую базу с целью повышения оперативности реагирования. При разработке технических регламентов нужно сохранить основные принципы и требования действующей системы обеспечения радиационной безопасности населения и гармонизировать их с международными стандартами безопасности.

В области использования техногенных источников ионизирующего излучения необходимо усилить работу по исключению возможности несанкционированного использования техногенных источников ионизирующего излучения

В области медицинского облучения активно добиваться выполнения требований Федерального закона «О радиационной безопасности населения» в части обеспечения индивидуального дозиметрического контроля и учета доз облучения пациентов при всех видах исследований, а также приступить к разработке контрольных уровней доз при диагностических рентгенорадиологических исследованиях. Считать целесообразным разработку региональных программ ограничения облучения населения при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований.

В области ограничения облучения природными источниками:

- разработать и внедрить нормативы по допустимому содержанию природных радионуклидов в отделочных материалах и изделиях, содержащих повышенные уровни природных радионуклидов;
- обратить внимание на необходимость использования интегральных методов при оценке содержания радона в помещениях;
- разработать и обосновать критерии перехода населения радиоактивно загрязненных территорий к нормальной жизнедеятельности.

Таким образом, очевидно, что для выполнения задач по профилактике заболеваемости и смертности персонала Росатома необходимо иметь в качестве критерия уровень профессиональной заболеваемости.

Литература. 1. Резолюция Всероссийского совещания специалистов по гигиене труда «Актуальные вопросы государственного санитарно-эпидемиологического надзора за условиями труда в организациях различного профиля и профилактики заболеваемости работников», 23–24 ноября 2006 г. // Медицина труда и промышленная экология. – 2007. – № 1. – С. 40–43. 2. Булдаков Л.А. Здоровье человека, занятого в атомной промышленности / В сб. «Полярное сияние-2004». – СПб, 2004. – С. 67–70. 3. С.В.Воронин с соавт. Опыт работы по оказанию профпатологической помощи декретированным контингентам в системе предприятия атомной промышленности (ПО «Маяк») // Медицина экстремальных ситуаций. – 2006. – № 1(15). – С. 19–24. 4. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Агапов А.М. с соавт. Возможный дозовый порог при формировании группы потенциального риска среди персонала атомной отрасли // Бюллетень по атомной энергии. – 2005. – № 5. – С.44–50. 5. Мурин М.Б. «МЕДБИОЭКСТРЕМ» от атома до космоса // Медицинский вестник, № 27, сентябрь 2002. – С. 12. 6. Карелин Ю.В. Профессиональная заболеваемость // В сб. «Федеральному управлению «Медбиоэкстрем» 50 лет». Под ред. М.Б.Мурина. – М., 1997. – С. 97–98. 7. Бушманов А.Ю. Профессиональные заболевания у работников Росатома. Медицина экстремальных ситуаций. – 2006. – № 1(15). – С. 19–24. 8. Шарафанов В.В., Образцова Е.П. Основные задачи промышленно-санитарного надзора на современном этапе // Материалы конференции «80 лет Госсанэпидслужбе РФ и 55 лет Федеральному управлению «Медбиоэкстрем». Под ред. В.А.Кротова. – СПб., 2002. – С. 99–106. 9. Демин С.Н., Кротов В.А. Социально-гигиенический мониторинг на особо опасных объектах в Санкт-Петербурге. – СПб., 2004. – 210 с. 10. Ильин Л.А., Булдаков Л.А., Бушманов А.Ю. Условия труда и профессиональные заболевания у персонала атомной отрасли России // Материалы III Всероссийского конгресса «Профессия и здоровье». – М., 2004. – С. 87–89. 11. Ильин Л.А., Котенко К.В., Бушманов А.Ю. Профессиональная заболеваемость работников предприятий, прикрепленных на медицинское обслуживание к ФМБА России. II научно-практическая конференция ФМБА России «Современные аспекты промышленного здравоохранения в системе федерального медико-биологического агентства», Москва 2006, 24.11.2006 // Сб. ст. под общ. ред. В.В.Уйбы. – М., 2006. – С. 115–118.



А.Н.Ирецкий, Санкт-Петербург

С наступлением атомной эры в обществе распространился иррациональный страх перед ядерными, химическими и другими современными технологиями. Давно известно, что неловкие попытки избавить человека от каких-то мыслей, приводят к появлению навязчивых страхов – фобий. Попытки избавиться «в лоб» от мыслей определенной тревожной тематики ведут к усилению страха.

При отсутствии адекватной помощи иррациональные страхи (фобии) способны трансформироваться в систематизированный бред, когда психика утрачивает гибкость, а способность к прежнему глубокому охвату обстоятельств уже отсутствует. Для такого состояния характерны жесткая структура и «логическая обоснованность» каждого фрагментарного суждения при общем абсурде целого. Если здоровый человек интуитивно понимает, что любые словесные формулы и утверждения справедливы лишь в каких-то естественных границах и условиях, то человек с фобиями собственные умозаключения применяет безгранично. Поэтому значительные умственные усилия он вынужден направлять на избавление от противоречий между собственной картиной мира и реальностью.

Для формирования систематизированного бреда нужна комбинация условий:

1. Наличие сильных продолжительных эмоций (гнева, страха, обиды).
2. Снижение способности к одновременному удержанию в «поле зрения» значительного числа обстоятельств.
3. Навык компенсировать снижение памяти и мыслительных способностей систематичностью и «обстоятельностью» мыслительных операций.
4. Недостаточная информированность.

В 1986 г. после аварий на Чернобыльской АЭС появилось слово «радиофобия» для объяснения большинства малопонятных болезней у пострадавших при аварии и в ходе ликвидации ее последствий.

Через 20 лет объективные обследования контингента ликвидаторов аварии показали: реальное состояние здоровья у них намного хуже, чем у

средних людей в популяции. Но чем же определяется реальная тяжесть состояния ликвидаторов, только ли уровнем радиационных поражений?

Ликвидаторы аварии подверглись комбинированному патогенному воздействию. Не только радиоактивные материалы вызвали стойкие расстройства здоровья.

Для «купурки» разрушенного реактора применялась смесь песка, свинцовой дроби и борной кислоты, сбрасываемых с вертолета. Предполагалось, что окисленный свинец, диоксид кремния и борная кислота слетаются в реакторе в легкоплавкое боросиликатное стекло, закроеющее брешу, через которые продукты ядерных реакций выходили в атмосферу. Однако температура в разрушенном реакторе оказалась настолько высокой, что часть свинца и свинцовых окислов, а также боросиликатов стекла возгонялась, и в атмосферу поступал весьма токсичный аэрозоль, напоминающий по характеристикам вулканический пепел. Массовые исследования анализов крови у пострадавших и ликвидаторов обнаружили признаки токсического поражения свинцом, тогда как признаки радиационного поражения были менее значимыми.

Ликвидаторы имели контакт не только со свинцом, но и со многими другими токсичными элементами и соединениями, входящими в состав конструкционных материалов (кадмий, марганец, хром, бериллий). В ряде случаев возникает так называемый «мультипликативный синергизм» токсических веществ: совместное комбинированное действие ядов может значительно превосходить действие каждого яда отдельно. Выраженность патогенных эффектов при мультипликативном синергизме ядов соответствует уже не сумме токсических дозировок, а их произведению.

Отравления «тяжелыми металлами» (ртутью, свинцом и другими) не проходят без осложнений, выявляемых даже через несколько лет. Тяжелые металлы откладываются в костной ткани, и при любых состояниях, когда из костей вымываются минеральные компоненты (ионы кальция, фосфаты), параллельно происходит и поступление тяжелых металлов в кровь с развитием токсических поражений нервной системы. Такие эффекты можно наблюдать после переломов крупных костей, когда последовательно в зоне перелома де-

минерализуется костная ткань, затем происходит срастание деминерализованных фрагментов. Так, перелом руки у бывшего ликвидатора (через 20 лет!) привел примерно через неделю к развитию типичной картины свинцового поражения периферической нервной системы. Профпатологи хорошо знакомы с особенностью отравлений тяжелыми металлами – появлением клинических признаков отравления через много лет после поступления ядов в организм, например, при развитии возрастного остеопороза (вымывания минеральной основы костной ткани у пациентов в пожилом возрасте). К сожалению, врачи общей практики и неврологи не всегда вспоминают о возможностях хронических отравлений ртутью и свинцом, даже при встрече с больным с множественными и не вполне понятными расстройствами периферической нервной системы, не поддающимися стандартному лечению.

Хронические отравления свинцом и ртутью сказываются на состоянии психики: развивается так называемое «неврозоподобное состояние». Наряду с эмоциональными расстройствами, неустойчивостью настроения, снижаются способность к произвольной концентрации и удержанию внимания, ухудшаются память и страдают умственные способности. То, что с легкостью называли «радиофобией», было «неврозоподобным состоянием».

Помочь пациентам с хроническими отравлениями свинцом, сурьмой и другими тяжелыми металлами – не очень сложно и дорого. В СССР для лечения такой патологии более 45 лет назад был разработан препарат «Унитиол». Правда, единственная стандартная форма выпуска «Унитиола» – раствор для инъекций – не очень удобна для длительного курсового лечения. Но с учетом количества людей, которые могли получить свинцовую интоксикацию, можно наладить выпуск других форм «Унитиола», не требующих проведения инъекций. Производство препарата «Унитиол» – сравнительно дешевое, объем рынка – большой... И эффект от его применения реальный. Для ликвидаторов аварии не очень сложно организовать массовую терапию хронических поражений тяжелыми металлами, и избавить этих людей хотя бы от части болезней, причем без больших материальных затрат.



АТОМЭКСПО (атомная энергетика); **ИНТЕРДРАЙВ** (гидравлика, пневматика, приводы и их элементы); **ИНТЕРМАТИК** (электроника и связь в промышленности); **ИНТЕРТЕХСАЛОН** (автоматизация в промышленности и информационные технологии, промышленные роботы и интеллектуальные системы); **КОНВЕЙЕРЫ** (машины непрерывного транспорта); **НАНОТЕХЭКСПО** (нанотехнологии и наноматериалы); **ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ** (промышленная безопасность и охрана труда); **СУБКОНТРАКТИНГ И АУТСОРСИНГ** (промышленная кооперация и интеграция, компоненты и материалы); **ЭНЕРГОТЕХ** (оборудование и технологии производства, передачи, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии); **ЭТАЛОН** (испытательное и измерительное оборудование).

Дирекция: 129223, Москва, а/я 10
 Телефон/факс: (495) 937-40-81
 E-mail: miif@miif.ru
 www.miif.ru



В.И.Костин,
к.т.н., директор – генеральный конструктор
ФГУП «ОКБМ»

Нелегкий выбор

О задачах развития широкомасштабной гражданской атомной энергетики и проблеме выбора реакторных технологий для ее реализации

По разным оценкам, мировое энергопотребление к 2030 увеличится на 40–50 процентов. В России, учитывая наметившийся промышленный подъем, этот показатель, вероятно, возрастет еще больше. Такая ситуация позволяет предположить, что к середине XXI века производство энергии атомными энергоисточниками увеличится в 4–5 раз [1]. Широкомасштабное развитие атомной энергетики наиболее полно отвечает и модели построения в России инновационной экономики. Какими путями и средствами можно достичь поставленных целей?

Основные фавориты

Вопрос выбора реакторных технологий, хоть и относится к сугубо технической сфере, по сути своей является общественно-политическим, так как на кону будущее атомной энергетики. Поиск ответа на этот вопрос стал предметом идущей в отрасли дискуссии, которая получила новый импульс в связи с разработкой концепции федеральной целевой программы по новой технологической платформе (НТП) атомной энергетики.

Каким же, с нашей точки зрения, выглядит круг главных «претендентов» на участие в НТП?

Основная ставка, несомненно, должна делаться на развертывание строительства атомных электростанций (АЭС) на основе **тепловых реакторов большой мощности (≥ 1000 МВт(э)) с водяным теплоносителем**. Это наиболее освоенная в мире технология, имеющая конкурентоспособные по сравнению с углеводородными энергоисточниками характеристики. Серийное строительство энергоблоков с унифицированным составом оборудования позволит существенно уменьшить затраты и время сооружения АЭС.

С учетом предполагаемого ограничения ресурсов «дешевого» природного урана и ряда других проблем, широкомасштабная атомная энергетика (АЭ) должна базироваться на расширенном воспроизводстве топлива и замкнутом топливном цикле. Эта задача решается с помощью реакторов-бридеров. Россия имеет мировой приоритет в промышленной демонстрации такого типа энергоисточников на базе реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН-350, БН-600). Ввод в эксплуатацию строящегося энергоблока БН-800 с демонстрацией более высокого уровня безопасности и замкнутого топливного цикла позволит подготовиться к **серийному строительству коммерческих реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем**.

Совершенно очевидно, что развитие широкомасштабной АЭ должно базироваться на многокомпонентной структуре этой системы, способной эффективно функционировать за счет расширенного воспроизводства топлива и замкнутого топливного цикла. При этом решение по технологии переработки ОЯТ зависит от типов реакторных технологий, принятых для решения главной системной задачи – создания широкомасштабной атомной энергетики. Поэтому на первом этапе (уже в ближайшее время) необходима разработка официальной концепции Росатома по выбору соответствующих реакторных технологий и технологий топливного цикла на весь период создания широкомасштабной АЭ. Это позволит определиться с необходимыми средствами и сроками реализации намеченной программы развития АЭ в первой половине текущего столетия.

Почему судовые технологии?

Область использования атомных станций (АС) может и должна быть значительно расширена. В первую очередь это касается **АС малой и средней мощности** для удаленных районов, не

имеющих централизованного энергоснабжения, для обеспечения собственных нужд предприятий по добыче полезных ископаемых, замены изношенных региональных ТЭС, опреснения морской воды.

По существу, в связи с началом строительства плавучей АТЭС в г.Северодвинске выбор в России сделан в пользу **судовых технологий реакторных установок (РУ)**, обладающих компактностью, надежностью и безопасностью, проверенных в течение многих лет эксплуатации на большом количестве энергоустановок (около 350 РУ с суммарной наработкой более 6200 реакторо-лет). ОКБМ на базе судовых технологий с учетом опыта реакторов типа ВВЭР разработаны проекты РУ в диапазоне мощностей 3–300 МВт(э) для регионального энергоснабжения. Соответствующий мощностью ряд АС двухблочного исполнения – от 6 до 600 МВт(э). Для разработки, серийного промышленного производства и строительства таких АС, а также их сервисного обслуживания может быть привлечен большой научный и производственный потенциал российского атомного судостроения.

Для АТЭС предлагается также одноконтурная РУ ВК-300 мощностью 300 МВт(э) на основе корпусного кипящего реактора (НИКИЭТ). Имеется мировой опыт использования таких технологий в большой энергетике – реакторы типа ВВЭР, наряду с более распространенными двухконтурными реакторами с водой под давлением типа РWR (в России – ВВЭР). Однако преимуществ, в том числе экономических, АЭС с реакторами ВВЭР перед АЭС с реакторами РWR не проявили. К тому же, в России практический опыт эксплуатации таких реакторов ограничен далеко не представительным экспериментальным реактором ВК-50. Поэтому рекомендовать этот тип реактора к созданию и применению в новой технологической платформе АЭ вряд ли целесообразно, так как потребуются значительные затраты на разработку и освоение реактора нового типа без получения каких-либо очевидных новых качеств и преимуществ перед освоенными типами реакторов.

Вне конкуренции

Новой перспективной областью применения АЭ должны стать промышленные технологии, потребляющие высокопотенциальное тепло с температурой 850–1000°C, такие как: производство метанола, аммиака, нефтепереработка и нефтехимия, металлургия, производство синтетического жидкого топлива из угля и, наконец, производство водорода и развитие экологически чистой атомно-водородной энергетики. Это очень

энергозатратные производства, доля которых в структуре топливно-энергетического баланса суммарно превышает долю топлива, потребляемого в электроэнергетике. В этой области температур, безусловно, **вне конкуренции технология высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов с гелиевым теплоносителем (ВТГР)**, по которым уже имеется определенный мировой опыт получения высоких температур гелия и разработки проектов реакторов энерготехнологического назначения. Российские предприятия и компании США разрабатывают совместный проект одноконтурной модульной установки ГТ-МГР мощностью 300 МВт(э), состоящей из реактора и газотурбинного

блока преобразования энергии. Отсутствие машзала, минимальное количество систем, высокий КПД (48%) обеспечат хорошую экономику такой энергоустановки: удельные затраты на единицу мощности будут ниже, чем для ВВЭР большой мощности, а использование топлива в виде микрочастиц в многослойной керамической оболочке обеспечит его глубокое выгорание [2, 3].

Отсутствие машзала, минимальное количество систем, высокий КПД (48%) обеспечат хорошую экономику такой энергоустановки: удельные затраты на единицу мощности будут ниже, чем для ВВЭР большой мощности, а использование топлива в виде микрочастиц в многослойной керамической оболочке обеспечит его глубокое выгорание [2, 3].

Выполненный в ОКБМ анализ показывает, что РУ с «тяжелым» теплоносителем по составу и количеству систем безопасности практически не отличается от РУ БН-800 и ВВЭР-1000. Существенное

...Необходима разработка официальной концепции Росатома по выбору соответствующих реакторных технологий и технологий топливного цикла на весь период создания широкомасштабной АЭ.

Отличие состоит в том, что некоторые системы РУ с «тяжелым» теплоносителем не являются освоенными и широко применяемыми, поэтому потребуются представительные расчеты и экспериментальное подтверждение их работоспособности. В проекте СВБР декларируется «принципиально более высокий уровень безопасности» в условиях наиболее тяжелой запроектной аварии с разрушением здания, полным обесточиванием и крупной разгерметизацией первого контура. Однако соответствующие расчеты показывают, что радиационные последствия такой постулируемой аварии не зависят от типа теплоносителя, а определяются выходом радиоактивных продуктов из твэлов, прежде всего йода и цезия [4]. Соответственно, РУ с «тяжелыми» теплоносителями не имеют в этом отношении никаких преимуществ. Более того, размещение парогенератора (ПГ) с высоким давлением в первом контуре явно противоречит стремлению придать таким реакторам качественно новый уровень безопасности, поскольку крупная разгерметизация трубной системы ПГ может привести к повреждению реактора и значительному выходу активности, что не исключает необходимости применения мер по защите населения.

«Тяжелая» технологическая платформа

Однако в настоящее время для новой технологической платформы развития АЭ активно предлагаются и другие проекты – **РУ с «тяжелым» теплоносителем в первом контуре: СВБР-75/100** (разработка ОКБ «Гидропресс») со свинцово-висмутовым теплоносителем (СВТ) мощностью 100 МВт(э) и **БРЕСТ-ОД-300** (НИКИЭТ) с теплоносителем в виде расплава свинца мощностью 300 МВт(э) в качестве демонстрационной установки с разработкой в дальнейшем проекта РУ мощностью 1200 МВт(э). Оба проекта предусматривают использование реакторов на быстрых нейтронах в двухконтурном исполнении. В качестве теплоносителя во втором контуре рассматривается среда вода-пар. Авторы проектов усматривают их преимущества в обеспечении более высокого уровня безопасности и высоких экономи-

ческие показатели за счет сокращения систем безопасности и простоты конструкции.

Учитывая то обстоятельство, что ОКБМ имеет солидный опыт работы по РУ с «тяжелым» теплоносителем СВТ, позволю себе подробнее остановиться на возможности достижения заявленных в проектах СВБР-75/100 и БРЕСТ-ОД-300 преимуществ. Кстати, **опыта работы РУ на свинцовом теплоносителе не существует**, и в связи с этим нижеизложенное относится, в первую очередь, к РУ с СВТ.

Считайте, господа!

Совершенно неудовлетворительной является эффективность использования топлива в реакторе СВБР. В случае использования обогащенного урана годовой расход природного урана на единицу мощности в РУ СВБР в 2–2,5 раза больше, чем в РУ типа ВВЭР-1000, что свидетельствует о низкой



АТЭС «Севмаиз»

экономической эффективности топливного цикла на этом виде топлива. При использовании МОХ-топлива начальная удельная загрузка в РУ СВБР в 2–4 раза больше, чем в РУ БН-800, а коэффициент воспроизводства топлива имеет низкое значение (1,04 по проекту и менее 1,0 по оценке экспертов). Поэтому рассматривать данную технологию в качестве реакторов-размножителей нет оснований: при полной переработке ОЯТ тепловых реакторов ВВЭР-1000 и использовании выделенного энергетического плутония в полном объеме можно обеспечить темп ввода мощностей на основе РУ СВБР всего лишь 1 ГВт(э) в пять лет, а использование собственного плутония в СВБР может начаться не ранее, чем через 10 лет после пуска первого реактора, причем время удвоения даже на плотном (нитридном) топливе составит ~ 100 лет.

Авторы проектов РУ с «тяжелым» теплоносителем для широкомасштабной гражданской АЭ предлагают эту технологию, ссылаясь на ее освоенность, на наличие у России опыта разработки и эксплуатации РУ со свинцово-висмутовым теплоносителем в первом контуре. Действительно, для атомных подводных лодок (АПЛ) ВМФ были созданы и эксплуатировались РУ с СВТ двух проектов (ОКБМ и ОКБ «Гидропресс»). Всего было изготовлено и эксплуатировалось 10 объектов РУ данного типа, 3 из которых были выведены из эксплуатации аварийно, и восстановление их было признано невозможным. Авария на головной АПЛ с расплавлением активной зоны и выходом активности за пределы первого контура была обусловлена попаданием воздуха в первый контур, образованием труднорастворимых окислов и ухудшением теплоотвода от активной зоны. Таким образом, причины аварийного прекращения эксплуатации РУ не были связаны с какими-либо экстремальными обстоятельствами или ошибками персонала. Все АПЛ с РУ этого типа были выведены из эксплуатации в середине 1990-х годов досрочно, до выработки проектного ресурса. Указанные АПЛ эксплуатировались на низком уровне мощности (15–20% от номинальной величины), при пониженном уровне температур и скорости теплоносителя в первом контуре в течение всего срока службы. Энерговыводка активных зон составляла менее 10% от заявленной в проекте СВБР-

того, при облучении теплоносителя дополнительно образуется большое количество радиоактивного полония (этот процесс характерен и для свинцового теплоносителя). К этому следует добавить проблему накопления трития во втором (пароводяном) контуре этих РУ;

– большие энергетические и временные затраты для расплавления и поддержания теплоносителя в жидком состоянии (на разогрев реактора в РУ БРЕСТ-ОД-300 по проекту потребуется 7 месяцев);

– токсичность «тяжелых» теплоносителей и образование долгоживущих изотопов β-активного свинца, α- и β-активного висмута с периодом полураспада > 10⁶ лет, что усугубляет проблему их утилизации после прекращения эксплуатации РУ.

Нецелесообразно экономически

Весьма проблематичной представляется экономичность реакторов с тяжелым теплоносителем. В материалах указанных проектов РУ нет информации, за счет каких конструкторско-технологических и проектных решений предполагается обеспечить их экономические преимущества по сравнению с энергоблоками РУ ВВЭР-1000. Не приведено и сравнение проектов по натуральным показателям: массе, строительным объемам и площади энергоблоков, расходу конструкционных и строительных материалов, срокам строительства. Без этих показателей утверждения об экономических преимуществах не вызывают доверия, тем более, что проведенный нами анализ не выявил предпосылок для снижения капитальных затрат в вариантах АЭС с РУ типа СВБР или БРЕСТ. В частности, проект СВБР не может быть признан приемлемым для большой АЭ по капитальным затратам ввиду малой единичной мощности энергоблока и вследствие того, что в проекте не удалось реализовать принцип модульности конструкции, с которым обычно связывается возможность уменьшения объема строительно-монтажных работ на площадке. Достижение большой единичной мощности реакторов типа БРЕСТ проблематично по условиям их устойчивости. Дополнительными факторами, ухудшающими экономические показатели установки, являются высокая материалоемкость и необходимость поддержания высоких температур теплоносителя в стояночных режимах и питательной воды. Неопределенность эксплуатационных затрат в реакторах обоих типов связана с неясностью ресурсных показателей основного оборудования и РУ в целом. При этом такие АЭС, безусловно, будут проигрывать по топливной составляющей эксплуатационных затрат.

...и технически

Следует также отметить, что РУ с «тяжелыми» теплоносителями не имеют новых качеств и в отношении возможности утилизации долгоживущих актинидов по сравнению с быстрыми реакторами, охлаждаемыми натрием.

Таким образом, предлагаемые ядерные технологии на основе свинцово-висмутовых или свинцовых быстрых реакторов по комплексу определяющих характеристик не имеют преимуществ по сравнению с освоенными ядерными технологиями тепловых легководных и быстрых натриевых РУ. Поэтому использование «тяжелого» теплоносителя в РУ для широкомасштабной гражданской АЭ представляется совершенно нецелесообразным. Развертывание работ по созданию таких технологий приведет к большим затратам при отсутствии положительного результата в конечном итоге.

Подведем итоги

В целом широкомасштабная гражданская АЭ предполагается многокомпонентной, использующей преимущества реакторных установок различного типа. Однако широкомасштабность и многовариантность отнюдь не исключает, а напротив предполагает строго дифференцированный подход, основанный на системном анализе всех возможных рисков, особенно если речь идет о реакторных технологиях, не апробированных на практике. Целесообразность создания РУ с теплоносителем, не имеющим подтвержденного положительного опыта длительной эксплуатации, нужно определять исходя из гарантированного приобретения существенно новых и значимых для атомной энергетики качеств.

Литература. 1. Гагаринский А.Ю., Игнатьев В.В., Пономарев-Степной Н.Н. и др. Роль ядерной энергетики в структуре мирового энергетического производства XXI в. // Атомная энергия. – т. 99. – вып. 5. – 2005. – с. 323–336. 2. Митенков Ф.М., Кодочигов Н.Г., Пономарев-Степной Н.Н. и др. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор – энергоисточник для промышленного производства водорода. // Атомная энергия. – т. 97. – вып. 6. – 2004. – с. 432–446. 3. Костин В.И., Кодочигов Н.Г. На пути к атомно-водородной энергетике // Атомная стратегия. – № 24. – 2006. – с. 20. 4. Поплавский В.М., Багдасаров Ю.Е., Камаев А.А. и др. Опасность горения натриевого теплоносителя // Атомная энергия. – т. 96. – вып. 5. – 2004. – с. 355–361.

Антитеррористическое топливо для АЭС

Разработка Российского научного центра «Курчатовский институт», ВНИИАМ, «ЛУЧ»



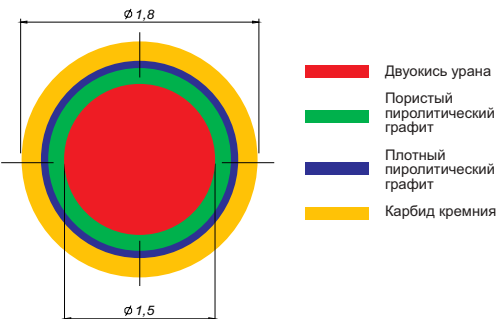
Е.И.Гришанин, ведущий научный сотрудник ВНИИАМ

Особенность атомной энергетики состоит в том, что радиационные последствия тяжелой аварии в результате террористического акта неустранимы.

Для XXI века будет характерно широкое распространение диверсий против объектов техники и против АЭС. Джохар Дудаев грозил еще в 1992 г. в журнале «Столица» сжечь Россию и США в атомном огне именно путем диверсий на АЭС. События 11 сентября 2001 г. в США удивительным образом показали, как это может происходить. Падение тяжелого самолета на АЭС приведет ко второму Чернобылю с 30 км зоной вечной недоступности. Чернобыльская авария зачеркнула экономический эффект от атомной энергетики на десятки лет вперед.

Причиной уязвимости АЭС является использование урановых стержней с оболочкой из сплава циркония. Сплав циркония очень хорош для баланса нейтронов в реакторе, но в аварийных режимах при высокой температуре он теряет прочность, и продукты деления выходят из активной зоны. Поэтому на АЭС предусмотрено многочисленное резервирование систем охлаждения и железобетонная защитная оболочка. По большому счету у атомной энергетики при использовании современных технических решениях нет надежного будущего.

В атомной технике разработаны тепловыделяющие элементы для высокотемпературных реакторов с гелиевым теплоносителем, в которых для твэлов вместо циркониевых сплавов используется многослойная оболочка из керамических материалов. Такие тепловыделяющие элементы из-за малого размера получили в России название микротвэлы. Керамическая оболочка микротвэла сохраняет прочность при повышении температуры до 1600°C. Это позволяет удерживать радиоактивность в микротвэлах при любых авариях и любых действиях террористов. Даже при разрушении корпуса реактора и железобетонной защитной оболочки микротвэлы исключают выход активности в атмосферу.



Тепловыделяющая сборка с микротвэлами может использоваться в работающих реакторах без изменения их конструкции.

Россия имеет собственную технологию изготовления микротвэлов для намечавшихся к строительству в СССР высокотемпературных реакторов.

Курчатовский научный центр, ВНИИАМ и «ЛУЧ» провели комплекс исследований, который подтверждает способность микротвэлов удерживать радиоактивность в нормальных и экстремальных, аварийных условиях, а также провели успешные реакторные испытания.

Весь комплекс работ по обоснованию применения микротвэлов для действующих в России реакторов типа ВВЭР проведен при финансовой поддержке французской фирмы «Framatome ANP». Внедрение этой новой технологии на действующих новых АЭС позволит создать условия для широкомасштабного безопасного развития атомной энергетики в России и за рубежом. Следует отметить известные трудности внедрения этой новой технологии. Специалисты Росатома не имеют возражений по технической сущности этого технического решения, но основной аргумент «против» следующий: «Действующим нормативным документам мы удовлетворяем, а за дополнительную антитеррористическую безопасность нам никто платить не будет. За последствия террористических актов и гипотетических аварий пусть отвечает Правительство». Поэтому необходимо политическое решение для внедрения новой разработки.

Возможен отечественный или международный проект, который включает следующие укрупненные этапы:

1. Разработку технического проекта микротвэла и тепловыделяющей сборки с микротвэлами применительно к условиям водяного реактора (завершение испытаний в исследовательском реакторе).
2. Восстановление производства микротвэлов и создание производства тепловыделяющих сборок с микротвэлами для работающих АЭС.
3. Постепенную замену в действующих АЭС топливных сборок со стержневыми твэлами на топливные сборки с микротвэлами.
4. Разработку проектов и строительство новых реакторов с микротвэлами с уникальными технико-экономическими характеристиками.

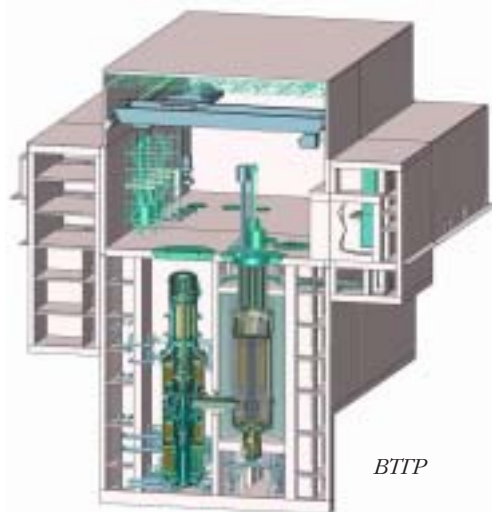
В качестве постскриптума

Еще в конце 70-х годов директор Курчатовского института акад. А.П.Александров однажды обеспокоился: «Все у нас с атомной энергетикой идет хорошо, вот только, что делать, если будет угроза терроризма! У нас ничего нет в защите от него». Он понимал, что просто охрана по большому счету неэффективна в принципе, потому что она поневоле привыкает, что изо дня в день ничего не происходит и неизбежно теряет бдительность и моральную готовность. А принципиальное преимущество террористов в неожиданности. Даже учения на АЭС показали, что спецназ легко проникает и захватывает АЭС. При наличии у террористов специальных знаний сделать новый Чернобыль вполне возможно.

Поэтому мне хотелось сформулировать концепцию широкомасштабного развития атомной энергетики. В ней первый пункт – разработка ТВС с микротвэлами для АЭС с ВВЭР и РБМК. Тем самым, как мне кажется, можно защитить атомную энергетику от серьезных проблем при терроризме против АЭС. Затем можно спокойно думать о дальнейших перспективах атомной энергетики.

Комментарий Владимира Молчанова, исполнительного директора ОАО «ТВЭЛ»:

– При оценке проектов в сфере НИОКР ОАО «ТВЭЛ» ориентировалось и ориентируется на возможности их практического применения, а также на планы развития отечественной атомной отрасли, утверждаемые Федеральным агентством по атомной энергии. Мы – коммерческая компания, и нас интересуют, прежде всего, те разработки, которые могут быть применены сейчас. Что касается микротвэлов для газоохлаждаемого реактора, то эти разработки, как и другие перспективные исследования, выполняются за счет государственных средств.



75/100. Причина досрочного прекращения эксплуатации АПЛ – сложность поддержания технологии СВТ.

В целом, полученный опыт использования этих установок не дает оснований для того, чтобы рассчитывать на создание надежных РУ с длительным сроком эксплуатации (даже при учете возможных способов решения выявленных проблем), поскольку явно недостаточной является ресурсная база работы установок АПЛ.

Авторы проектов реакторов типа БРЕСТ предлагают использовать свинцовый теплоноситель в связи с дефицитом висмута и связанной с ним высокой полониевой радиоактивностью. Однако при использовании свинца возникают другие специфические проблемы, связанные с высокой температурой плавления этого теплоносителя (327°C вместо 123°C для Pb-Bi и 98°C для Na). Общими проблемами технологии «тяжелых» теплоносителей являются:

– поддержание концентрации кислорода, необходимой для ограничения коррозионного воздействия теплоносителя на конструкционные материалы (~ 10⁻⁶ вес. %) с обеспечением соответствующего контроля в теплоносителе, равномерно во всех местах его нахождения (это особенно актуально для интегральной монокорпусной компоновки, содержащей застойные зоны);

– радиологическая опасность РУ с «тяжелым» теплоносителем, поскольку эти теплоносители не задерживают продукты деления – цезий и йод, которые переходят в газовый контур, откуда они могут выйти за пределы первого контура. Кроме



Зачем останавливать блок из-за полета мухи?

На вопросы журнала «Атомная стратегия» отвечает директор Курской АЭС Ю.И.Слепок

— Критерием безопасности служит гармонизация технического объекта со средой обитания человека. Насколько гармонично вписывается АЭС как технический объект в природную и социальную среду?

— Бурное развитие техники повышает качество и продолжительность жизни человека. Но оно невозможно без электричества, потребность в котором становится первейшей наряду с потребностями в воздухе, воде, пище.

В то же время чем больше энергии потребляет человек, тем больший ущерб наносит он природной среде. Следовательно, следует развивать те способы добычи энергии, которые наименее дисгармонизируют отношения «природа — человек».

Климат предоставил россиянам наиболее зримые свидетельства необходимости гармонизации энергетики с окружающим миром. Достаточно побывать в зоне расположения угольной ТЭЦ зимой, эдак через недельку после снегопада. В регионе расположения Курской АЭС тоже можно провести сравнительный анализ воздействия разных объектов энергетики на природную среду. Котельная близлежащего поселка одно время выбрасывала до 80% территориального объема загрязняющих веществ. В это же время гигантская АЭС произвела аналогичных отходов в 8 раз меньше поселковой мазутной котельной. «Станционные» выбросы шли тоже от котельной, обслуживающей отдаленный вспомогательный объект АЭС, так что их правильнее вписать в «заслуги» традиционной энергетики.

Другой пример. Вода в реке Сейм в ближайшем нижнем от КуАЭС створе по классу чище, чем в створе, расположенном на три километра ближе к устью. То есть, вода после сбросов атомной станции менее загрязнена химическими веществами, чем после сбросов сельской фермы. Данный факт весьма показателен. Ведь химическое воздействие атомной станции на окружающую среду при нормальной эксплуатации, как не парадоксально, выходит на первое место.

А как же радиация? Внедренные на Курской АЭС системы обеспечения радиационной безопасности позволяют поддерживать выбросы и сбросы радиоактивных веществ в минимальных объемах: выбросы — 1–10%, сбросы — 1% от нормированных величин. Среднегодовая объемная активность радионуклидов в атмосфере прилегающего к станции района примерно в 100000–1000000 раз меньше установленной нормами радиационной безопасности.

По основному интегрированному показателю — мощности дозы в зоне наблюдения изменения практически не наблюдаются. В 1975 г., в отсутствие работающей АЭС усредненная мощность дозы была 11 мкР/час. В настоящее время регистрируется аналогичный показатель. Мощность дозы надежно держится на данном уровне.

Могут возразить: сравнение с допотопными технологиями сжигания угля и мазута некорректно, появились более экологичные способы извлечения энергии из углеводородного топлива. Но ведь и атомные технологии не стоят на месте. РБМК по возрасту — дедушка атомной энергетики. Тем не менее, на этом типе реактора внедрено за последние 30 лет наибольшее количество инноваций. По сравнению с началом 90-х годов прошлого века дозы облучения персонала снижены на Курской АЭС почти в три раза, а радиоактивные газоаэрозольные выбросы в атмосферу — в 10 раз. При этом дозы и выбросы всегда были существенно ниже нормативных. Работа по снижению радиоактивных выбросов и сбросов будет проводиться и в дальнейшем.

Что касается социальной гармонизации. Возьмем самый чуткий показатель общественного благополучия — демографический. На территории города-спутника Курской АЭС наблюдается устойчивый прирост населения за счет низкой смерт-

ности и постоянного роста уровня рождаемости. Показатель младенческой смертности значительно ниже общероссийского и областного. В последние годы он сравним с показателями Японии и наиболее благополучных стран Европы.

Такой значимый показатель для оценки состояния здоровья населения как онкологическая заболеваемость в расчете на 10000 человек населения, по данным медиков, в течение длительного периода ниже общероссийского.

— Идеологией безопасности на Курской АЭС сформировал первый главный инженер Том Петрович Николаев. Какие ключевые моменты она включает? Какие из них не утратили актуальности по настоящее время?

— В основе идеологии (культуры) безопасности лежит глубоко нравственная позиция личности, не

Нынешнее руководство Росатома, инициировавшее преобразования в отрасли, отдает безопасности безусловный приоритет перед любыми другими задачами, в том числе экономической эффективностью. Это основополагающий подход, не подлежащий пересмотру. Эффективностью может обладать только то, что безопасно.

допускающая самой возможности нанесения своей деятельностью ущерба окружающим, установление приоритета безопасности в производственной деятельности. Из этого вырастает высочайший профессионализм, ибо невежа, даже самый прекрасодушный, опасен на атомном производстве по определению. Глубоко нравственное понимание человеческого и профессионального долга обеспечивает неформальное отношение к выполнению рутинных обязанностей и операций, постоянное самосовершенствование, поиск областей улучшений. Все это было присуще Т.П.Николаеву.

Пройдя тяжелую школу работы на промышленных реакторных установках в Челябинске и Томске, он с момента своего появления на атомной станции в 1973 г. проводил политику безопасности, которая началась с доработки проекта Курской АЭС и личного участия в отборе кадров.

Именно Т.П.Николаеву вместе с его соратниками принадлежит заслуга воспитания в приемниках культуры безопасности в то время, когда это понятие еще не было введено в профессиональный оборот.

Задача повышения надежности работы станции по инициативе инженерного корпуса Курской АЭС была поставлена и решалась практически сразу после ввода ее в эксплуатацию.

Существенно повысили надежность курских энергоблоков инженерно-технические решения 70–80-х годов. В конце 70-х годов под руководством Т.П.Николаева было разработано и реализовано одно из основных мер по модернизации систем безопасности РБМК — автоматический ввод укороченных стержней-поглотителей в активную зону реактора снизу. Им был организован ввод в опытную эксплуатацию стержней «жидкостного» регулирования — прообраз современных (диверсифицированных) исполнительных органов аварийной защиты (БАЗ). Т.П.Николаевым были введены важные страхующие меры при перегрузке топлива — так называемый «полюсичный принцип», до Чернобыля были начаты другие мероприятия по усилению систем безопасности.

Эта работа, по сути, не прекращалась никогда. Т.П.Николаев, опередив свое время, еще до всеобщего понимания культуры безопасности был ярким ее носителем, и все свои силы направлял на внедрение ее принципов на Курской АЭС. При нем и непосредственном его участии в коллективе Курской АЭС создана атмосфера открытой инженерной дискуссии в вопросах обеспечения безопасности. Такая позиция особенно была важна в период административно-хозяйственного давления. Но поддерживать ее нужно во все времена.

Наследие Т.П.Николаева курские атомщики берегут как зеницу ока. Техническим воплощением его стала масштабная и долговременная модернизация первой очереди Курской АЭС.

— Именно о модернизации мой следующий вопрос. Она закончилась или продолжается на Курской АЭС?

— Модернизация блоков первого поколения проходила с 1994 по 2004 г. Цели она достигла. Реакторы приобрели свойства самозащитенности. Интегральный показатель риска для энергоблоков № 1, 2 Курской АЭС снижен на два порядка по сравнению с показателем, предусмотренным нормативами МАГАТЭ для реакторных установок старших поколений, и один порядок ниже требований отечественных нормативов. Сняты ограничения мощности двух блоков, введенные Госатомнадзором в 1991 г. Наконец, в декабре 2006 г. срок эксплуатации энергоблока № 1 продлен на 10 лет сверх установленного проектом с перспективой продления еще на 5 лет.

Итоги модернизации признаны международным профессиональным сообществом атомщиков. Именно учет ее результатов, на мой взгляд, позволил генеральному директору МАГАТЭ Мохаммед эль-Баради сказать в 2004 г. о РБМК: «В результате усовершенствований, проведенных с 1986 года, ни один из этих реакторов не грозит повторением Чернобыля».

На энергоблоках №№ 3, 4 работы по модернизации будут завершены в 2008 и 2009 гг. соответственно. Дальнейшая работа по повышению безопасности предусматривает совершенствование состава активной зоны с целью повышения свойств самозащиты реактора (уран-эрбиевое топливо; кластерные органы регулирования); внедрение новых расчетных программ и вычислительных средств; модернизацию аварийной защиты; внедрение системы контроля пуска и подкритичности на энергоблоках № 3 и № 4 и другие, включая повышение уровня подготовки персонала и совершенствование культуры безопасности.

— Можно ли, на ваш взгляд, говорить сегодня об избыточности в подходе к безопасности?

— Разговоры об избыточности в вопросах обеспечения безопасности сами по себе не корректны. Необходимо вести речь о сбалансированном подходе к обеспечению безопасности в части технических и организационных мер (обеспечения

качества). При этом необходимо придерживаться принципа оптимизации. Нет проблемы избыточной безопасности, есть проблема целесообразности и обоснованности затрат на безопасность.

Она не должна пониматься прямолинейно. Скажем, как создание еще одной дорогостоящей системы. Можно внедрить системы, останавливающие блок из-за полета мухи в помещении. Но зачем?

Безопасность как совершенствование организации производства и обеспечение качества — более сложный подход. Небольшой пример из раздела работы персонала. Перечень аварийных защит у нас раньше помещался на двух страницах регламента, и каждый оператор знал их наизусть. Для современной КСКУЗ аналогичный перечень занимает 14 страниц. Запомнить их не под силу. Требуется внедрение оперативных советчиков для операторов, какие имеются за рубежом. С операторов снимается часть психологической нагрузки, снижается вероятность ошибки.

Сейчас в целях повышения КИУМа взято направление на удлинение межремонтного цикла. Это требует соответствующего научного обоснования и экспериментальной проверки на предмет выявления возможных изменений в состоянии металла.

К числу мер, повышающих безопасность при проходящем у нас внедрении топлива повышенного обогащения, можно отнести неоперативный расчет распределения выгорающего поглотителя по объему активной зоны в программах расчета перегрузки топлива. Это необходимо для того, чтобы не создать в объеме реактора зон с резко отличающимися нейтронно-физическими характеристиками.

Конкретику можно продолжить. В каждой сфере работы АЭС существуют области, подлежащие улучшению. Вести их поиск и вести профессиональную дискуссию о путях улучшения — это вполне в духе наследия Т.П.Николаева.

— Как безопасность соотносится с экономической эффективностью, на которую направлена реформа энергетики?

— Нынешнее руководство Росатома, инициировавшее преобразования в отрасли, отдает безопасности безусловный приоритет перед любыми другими задачами, в том числе экономической эффективностью. Это основополагающий подход, не подлежащий пересмотру. Эффективностью может обладать только то, что безопасно.

Обратная связь также существует. Взять ту же модернизацию. Непосредственная цель ее достигнута — безопасность повышена. Но получены и экономические эффекты: сняты ограничения мощности двух энергоблоков, выработка электроэнергии в последние 5 лет выросла примерно на 50%. Принято считать, что создание 1 ГВт мощности стоит 1 млрд. долларов. На модернизацию двух блоков мы затратили 390 млн. долларов. Без нового строительства восстановили 600 МВт мощности. То есть прямая экономия составила примерно 210 млн. долларов. Плюс стоимость дополнительной электроэнергии, уже выработанной двумя блоками (2 ГВт) со времени окончания модернизации и той, что будет выработана ими в дополнительный срок эксплуатации.

Подводя итог, скажу: мне трудно припомнить какую-либо другую производственную отрасль, в которой делалось бы столько для гармонизации отношений с природой и социумом, сколько делается в атомной энергетике. Где еще введено в профессиональный оборот понятие «культуры безопасности»? Какая отрасль должна отчислять при новом строительстве до 10% капиталовложений на сооружение социальных объектов (что снижает, кстати, конкурентоспособность отрасли), как это происходит у нас? По позитивному естественно-гуманитарному влиянию атомная энергетика имеет безусловный приоритет.

Концептуальные задачи организации мониторинга по сейсмическому и геодинамическому контролю стабильности природной среды в районах размещения атомных станций



А.А.Лопанчук, д.т.н.,
нач. техн. отдела
ПКФ «Росэнергоатом-проект»



Б.В.Хилков, инженер,
главный специалист
ПКФ «Росэнергоатом-проект»

Отечественными нормативными документами, международными нормами (МАГАТЭ) и требованиями (EUR, URD NRC) предусмотрено безальтернативное обеспечение безопасности атомных станций (АС) при сейсмических воздействиях до максимального расчетного землетрясения (МРЗ) включительно и выработка электрической и тепловой энергии вплоть до уровня проектного землетрясения (ПЗ) включительно.

Реализация этих существенно жестких требований на предпроектной (выбор районов размещения и площадок АС) и проектной стадиях осуществляется на базе всестороннего изучения геодинамических зон, активных разломов, зон возможных очагов землетрясений и сейсмического районирования, определения прогнозируемых параметров ПЗ и МРЗ для естественных грунтовых условий и с учетом их техногенных изменений, а в периоды строительства, эксплуатации и ликвидации АС посредством осуществления сейсмического, геотехнического и геодинамического контроля стабильности природной среды на основе мониторинговых наблюдений в районе размещения и на площадке АС.

Локализация мониторинговых наблюдений районом размещения АС определяется большим территориальным разбросом площадок действующих отечественных АС и, соответственно, незначительными корреляционными сейсмическими и геодинамическими связями между ними.

Однако ситуация меняется в связи с реализацией задач Федеральной целевой программы «Развитие энергетического комплекса России на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года» и разработкой Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2020 года с перспективой до 2030 года. По мере претворения в жизнь планов развития атомной энергетики территориальный разброс площадок АС, особенно в европейской части России, существенно сократится.

В этих условиях, в первую очередь с целью повышения объемов и качества мониторинговых наблюдений, расширения информационного поля и технологических возможностей прогнозирования событий и оперативного управления безопасностью АС в условиях проявлений нестабильности природной среды, становится актуальной задача интеграции отраслевых стационарных мониторинговых систем с региональными, российской и мировой системами сейсмологических и геодинамических наблюдений, исследований и прогнозирования.

Проведение мониторинговых наблюдений по сейсмическому контролю стабильности природной среды в районах размещения АС подразумевает системную организационную и информационную интеграцию пунктов сейсмических наблюдений на стационарном, региональном и федеральном уровнях и предполагает постоянное системное изучение уровней микросейсмического шума, его спектров и динамических характеристик. Функциональная схема сейсмологического и геодинамического мониторинга ядерных объектов в увязке с региональной, российской и мировой системой сейсмологических и геодинамических наблюдений и исследований представлена на рис. 1.

Организация мониторинга стационарными сетями позволяет получать достоверные данные о фактической сейсмической ситуации на площадке АС. В то же время, решая частные эксплуатационные задачи, связанные с обеспечением текущей отрас-

левой безопасности, стационарные сети объектового мониторинга являются бесценным источником экспериментального материала, накопление и изучение которого открывает выход на решения фундаментальных задач сейсмологии и геодинамики.

Стационарная геодинамическая и сейсмическая сеть по мере строительства АС и на начальных этапах её эксплуатации должна плавно интегрироваться в региональную и федеральную сети сейсмических наблюдений России и всемирную.

Для широкого научного анализа и обработки станционных (АС) экспериментальных данных может быть привлечен аналитический центр АН РФ, уже сегодня осуществляющий научную обработку региональных данных сейсмических и геодинамических наблюдений.

На этом уровне производится выделение телесейсмических, региональных и локальных событий и прогнозирование их развития.

На базе статистического пространственно-временного распределения и спектрально-корреляционного анализа сейсмических волновых процессов осуществляется интерпретация событий, определение азимута на эпицентр, эпицентрального расстояния и глубины очага, времени развития события в очаге и его энергетический класс (по Раутиан).

Такой подход позволяет выполнять практически в режиме реального времени эффективный контроль сейсмического и геодинамического режима каждой конкретной площадки АС в увязке с данными региональной, федеральной и мировой сетей сейсмических и геодинамических наблюдений, и формировать научно обоснованные отраслевые и станционные оперативные и перспективные решения.

По результатам наблюдений будет системно создаваться база данных сейсмических событий, являющаяся основой для оценки сейсмического режима, роли техногенного фактора в общей

сейсмичности и для детального сейсмического и микросейсмического районирования, а арсенал фундаментальных научных разработок позволит решать задачи отраслевой безопасности на более высоком и более оперативном научно-техническом уровне.

Предлагаемая система постоянного мониторинга сейсмического и геодинамического режима территорий АС, интегрированная на региональном, федеральном и мировом уровнях, с одной стороны, способствует обеспечению промышленной и экологической безопасности и снятию психологической нагрузки у населения, возникающей, в основном, из-за отсутствия достоверной информации и методов её получения, а, с другой стороны, обеспечивает прямую и обратную научно-информационную связь высокотехнологичного производства и фундаментальной науки.

На рис. 2 представлена схема прогнозирования, формирования решений и управления процессами

сейсмической и геодинамической безопасности на АС России и дана расшифровка внутрисистемных связей к ней.

В процедурах получения и изучения первичной информации о сейсмических и геодинамических процессах природного и техногенного характера участвуют отраслевые станционные сети проектного для АС мониторинга и региональные сейсмические и геодинамические сети АН России, объединенные в российскую систему под патронажем Аналитического центра АН РФ.

Основная организационная задача этого системного звена – методологическая, информационная, технологическая и техническая совместимость. Здесь осуществляются постоянные рабочие информационные обмены кратковременными прогнозами, рекомендациями и предупреждениями по текущим сейсмическим и геодинамическим процессам.

Мониторинг процессов в рамках задач АС направлен на оптимизацию управления технологическими процессами. На региональных уровнях – на региональную аналитику процессов, а в Аналитическом центре АН РФ на разработки фундаментальных методологий, концепций и прогнозирования процессов.

Оперативное оповещение о нестандартных сейсмических и геодинамических событиях, регистрируемых системами мониторинга АС, передаются в регионы, Аналитический центр АН РФ и кризисный центр концерна «Росэнергоатом». В обратном направлении по тем же адресам осуществляется передача информации об оперативной оценке событий и оперативные рекомендации.

В случаях чрезвычайных ситуаций на АС процедуры управления осуществляет Кризисный центр концерна «Росэнергоатом».

Связи по проблемам сейсмической и геодинамической безопасности с законодательными и правительственными службами РФ и мировой системой сейсмонаблюдений осуществляются по предложению Аналитического центра АН РФ через руководство АН РФ. Управление чрезвычайными ситуациями регионального масштаба осуществляет МЧС РФ.

На уровне МЧС РФ, законодательных и правительственных служб РФ и мировой системы сейсмонаблюдений предусматривается координация законодательных инициатив, проблем нормативной регламентации, административного управления, международных соглашений, долгосрочного прогнозирования и глобальных рекомендаций по рассматриваемой проблеме.

Предлагаемые концептуальные основы прогнозирования, формирования решений и управления процессами сейсмической и геодинамической безопасности на АС России в процессе реализации могут и должны учитывать целевые задачи организаций, как упомянутых в рассмотренной схеме, так и других потенциальных участников её реализации.

Рассмотренные концептуальные основы организации мониторинга по сейсмическому и геодинамическому контролю стабильности природной среды в районах размещения атомных станций носят универсальный характер и могут быть адаптированы к другим контролируемым процессам, в частности природно-климатического характера, в т.ч. гидрометеорологическим, аэрологическим, сейсмотектоническим и т.д., и не только на объектах атомной энергетики, но и на других объектах повышенной технической опасности.

Литература. 1. А.А.Лопанчук, С.С.Нефедов, Б.В.Хилков, А.В.Евсеев «Кадастр площадок для строительства АС на горизонте 2008–2030 годов». Приложение 1. Кооперация – «Мониторинг, прогнозирование и управление сейсмической и геодинамической безопасностью на АС России». ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ». Москва. Октябрь 2006. Доклад на рабочей группе «Дорожная карта». 2. А.А.Лопанчук, А.А.Маловичко, О.Е.Старовойт, Л.И.Надежда «Мониторинг, прогнозирование и управление сейсмической и геодинамической безопасностью на АС России». Материалы XII международной конференции «Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения», том 1. Воронежский государственный университет. Воронеж. 2006.



Рис. 1. Функциональная схема сейсмологического и геодинамического мониторинга ядерных объектов в увязке с региональной, российской и мировой системой сейсмологических и геодинамических наблюдений и исследований

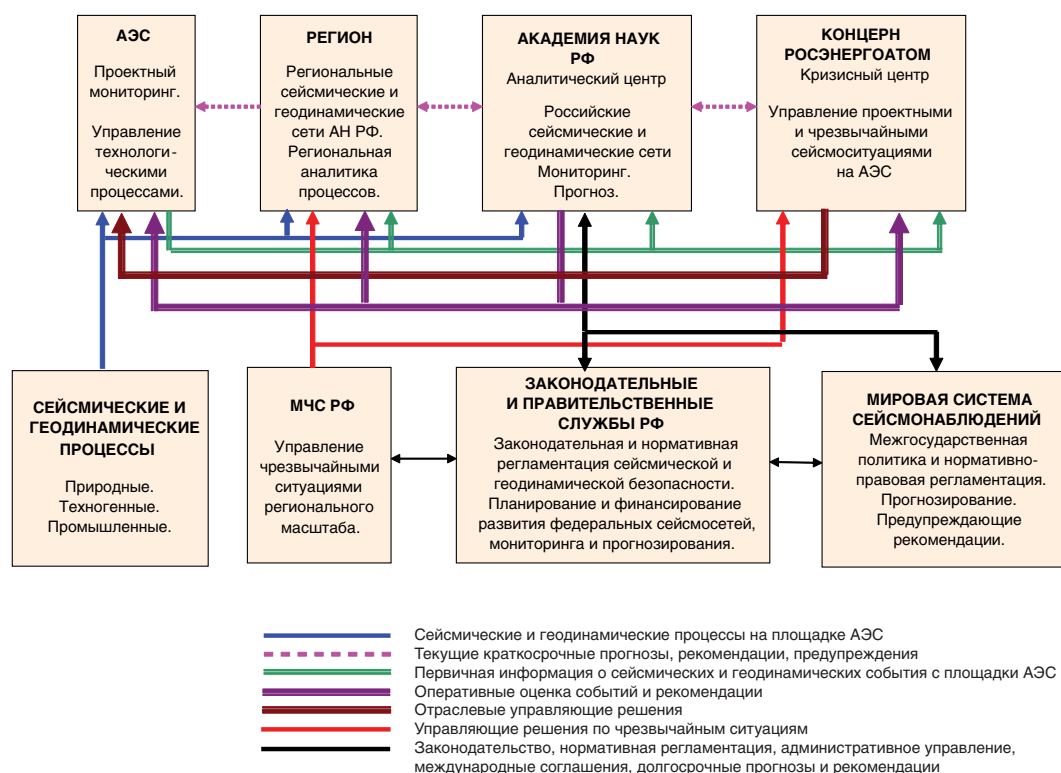


Рис. 2. Схема прогнозирования, формирования решений и управления процессами сейсмической и геодинамической безопасности на АЭС России

Вековые циклы сейсмичности Земли и сейсмическая безопасность атомных станций

Ю.А.Рогожин, И.П.Шестопапов,
Центр радиационно-химической безопасности

Среди различных аспектов обеспечения безопасности АЭС не последнее место занимает сейсмическая безопасность в основном как требование не допустить неконтролируемой ядерной реакции при самых серьезных землетрясениях, которые можно ожидать в зоне расположения станции.

В наших исследованиях [1–3] показано, что сейсмические явления на Земле связаны с солнечной активностью. В частности, мы показали, что на Земле существуют 11-летние циклы сейсмической активности, которые имеют отрицательную корреляцию с циклами солнечной активности (с циклами солнечных пятен). В этих работах также показано, что на протяжении 11-летнего солнечного цикла сейсмическая активность возрастает не только в периоды минимальной солнечной активности, но и после крупных солнечных вспышек, которые вызывают увеличение потоков протонов и нейтронов в межпланетном пространстве и на поверхности Земли.

Авторами были проанализированы данные о сейсмической энергии, выделившейся из очагов землетрясений на всем земном шаре за период с 1690 по 2002 годы в сопоставлении с циклами солнечной активности, которые характеризуются так называемыми числами Вольфа [2]. Для каталога землетрясений была использована база данных Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США (NEIC, USGS) и Международного сейсмологического центра (ISC).

Анализируя эти данные за представленный временной интервал (см. рис. 1), обнаружилось, что существует примерно 100-летний цикл солнечной активности и сейсмичности Земли, который не совсем совпадает с календарным столетием. Например, период с 1890-е по 1990-е годы оказался вековым циклом сейсмической активности. По мере развития векового цикла, в котором постепенно увеличивается солнечная активность, проявляется отрицательная корреляция между солнечной и сейсмической активностью. Другими словами, наибольшая сейсмическая активность имеет место при минимальной солнечной активности, и наоборот.

В частности, предпоследний вековой цикл начался в конце XIX и закончился в конце XX века, точнее, в конце восьмидесятых – начале девяностых годов. И затем, в соответствии с нашей теорией, начиная с 1991 г., происходит непрерывное

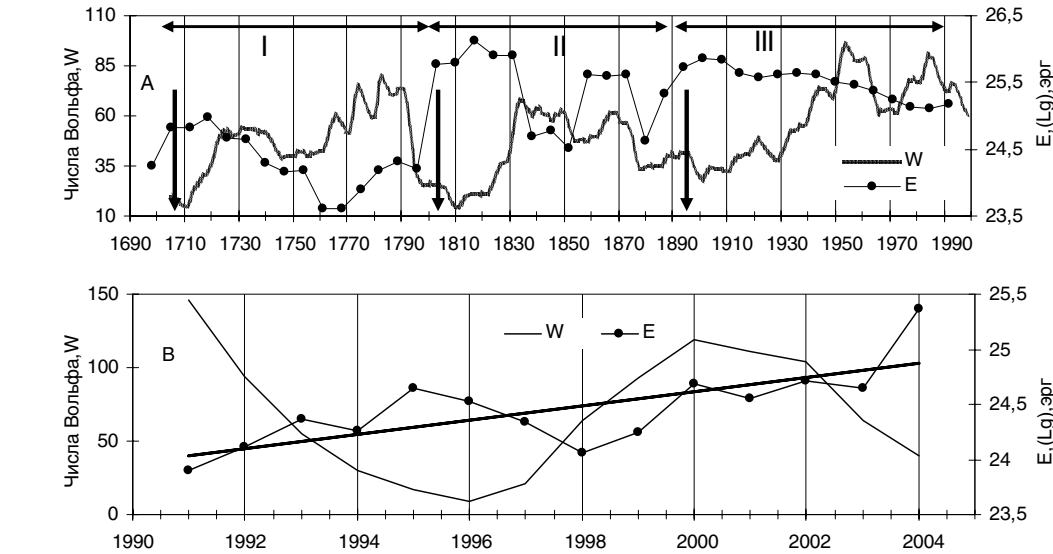


Рис. 1: а) Суммированные за 7 лет выделения сейсмической энергии в землетрясениях на всем земном шаре и сглаженные среднегодовые числа Вольфа за период с 1690 по 2002 гг. б) Временные вариации среднегодовых чисел Вольфа и ежегодных выделений сейсмической энергии в землетрясениях на всем земном шаре за период с 1991 по 2004 гг.

увеличение сейсмической энергии. Причем, столь высокое значение сейсмической энергии, как в 2004 г., наблюдалось лишь в начале XX столетия. Это указывает на то, что в ближайшие десятилетия число пятен в течение 11-летних солнечных циклов будет уменьшаться, а число крупных землетрясений оставаться высоким.

Впрочем, все сказанное выше относится к Земле в целом. Конечно, предупреждение о грозящем повышении сейсмической активности Земли имеет определенную прогностическую ценность, но значительно больший интерес представило бы указание конкретных мест, где можно ожидать серьезных землетрясений.

В наших исследованиях также показано, что сейсмическая активность Земли сопровождается выбросами нейтронов, причем существует высокая корреляция между энергией землетрясений и потоками нейтронов земного происхождения [1–3]. Это проявляется в заметном увеличении интенсивности потока нейтронов, особенно вблизи тектонических разломов, перед крупными землетрясениями. Обнаруженная корреляция между локальными проявлениями сейсмической активности Земли и потоками нейтронов была положена нами в основу разработки нового подхода к прогнозированию мест землетрясений.

При этом в качестве предвестника используется регистрация аномального потока излучения тепловых нейтронов, а в качестве прогностических параметров – величины и скорости приращения аномального потока излучений. Способ включает автоматизированную измерительно-информационную систему, содержащую комплекс измерительно-регистрирующих устройств в виде нескольких приборов для регистрации нейтронов, охватывающих сейсмически активную зону, и центральное обрабатывающее устройство для математической обработки результатов измерений прогностических параметров. Авторами подана заявка на оформление патента на «Способ оперативного прогнозирования землетрясений».

В нашем распоряжении имеются приборы для регистрации нейтронов, которые применялись ранее в различных исследованиях. Применительно к поставленной задаче авторами получен патент на «Устройство для регистрации нейтронного излучения в качестве предвестника землетрясений» [4], и принято положительное решение о выдаче патента на полезную модель «Автоматизированная измерительно-информационная система для прогнозирования землетрясений».

Возвращаясь к проблеме сейсмической безопасности атомных станций, следует отметить, что

все российские АЭС как бы специально привязаны к разломам земной коры. Эта, удивительная на первый взгляд, особенность имеет простое объяснение. Дело в том, что древние тектонические разломы прикрыты толстыми осадочными породами и не бросаются в глаза. Однако непосредственно над разломами образовались углубления земной поверхности, в которых текут реки и расположены озера. К этим-то водным источникам и привязывали проектировщики строящиеся АЭС, чем и объясняется их соседство с невидимыми тектоническими разломами.

Тот факт, что в настоящее время эти тектонические разломы неактивны, не может быть основанием для убеждения в сейсмической безопасности объектов, расположенных вблизи. На протяжении длительной геологической истории были неоднократные случаи подвижек земной коры с активацией ее разломов. Нет гарантий от повторения подобных случаев с тяжелыми последствиями, в частности, для АЭС.

Опасность ядерных объектов в результате землетрясений сводится к двум факторам:

1. Возможность повреждения реактора в результате землетрясения.
2. Влияние на его работу потоков нейтронов, которые генерируются во время землетрясения. При этом за очень короткий промежуток времени (несколько секунд) их потоки могут увеличиться на 5–8 порядков и составлять величину $10^6 - 10^8$ нейтронов/см² · сек.

Поэтому желательным является организовать сейсмический мониторинг вблизи станционных промплощадок. Для этих целей могли бы подойти устройства для регистрации нейтронного излучения в качестве предвестника землетрясений, о которых говорилось выше. Предлагается вначале опробовать это устройство на одной из наиболее сейсмоопасных АЭС, с тем чтобы после доработки решить вопрос об их широком применении в качестве сейсмического мониторинга на всех АЭС.

1. Соболев Г.А., Шестопапов И.П., Харин Е.П. Геоэффективные солнечные вспышки и сейсмическая активность Земли // Физика Земли. 1998. №7, с. 85–90. 2. Шестопапов И.П., Харин Е.П. О связи сейсмичности Земли с солнечной и геомагнитной активностью // Материалы III Международной конференции «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений», 16–21 августа 2004, Петропавловск-на-Камчатке. 3. Шестопапов И.П., Рогожин Ю.А. О прогнозировании микробиологической и сейсмической активности с учетом взаимосвязей в системе «Солнце-Земля» на основе нейтронного мониторинга // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2005, № 3. 4. Шестопапов И.П., Рогожин Ю.А. «Устройство для регистрации нейтронного излучения в качестве предвестника землетрясений». Патент RU 44835 U1 2005.



АЭС 2006

Я Р М А Р К А
ИННОВАЦИОННЫХ
ПРОЕКТОВ

МОСКВА 2007

Организаторы:





ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ»

Официальные партнеры:

ВНИИИМ им. А.А.Бочвара

ПКФ «Росэнергоатомпроект»

Генеральный информационный партнер:



Информационные партнеры:






- Выставка инновационного оборудования, технических решений и технологий для новой атомной станции "АЭС-2006" с реакторами типа ВВЭР-1000 и Новой технологической платформы атомной энергетики
- Конференция "Инновационные проекты атомной станции "АЭС-2006" с ректорами ВВЭР-1000 и Новой технологической платформы атомной энергетики"
- Проблемные круглые столы и семинары
- Конкурсная программа

Подробная программа - на официальном сайте Центра «Атом-инновация»
www.runttech.ru
 Тел. 8 (495) 228-30-23
 Факс 8 (495) 228-30-25

ФГУП «Концерн «Росэнергоатом», ОАО «ВНИИАЭС» и Центр «Атом-инновация» 24 апреля 2007 года проведут Ярмарку инновационных решений для проектов новой атомной станции «АЭС-2006» и Новой технологической платформы атомной энергетики (НТП).

На ярмарке будут рассматриваться и оцениваться на возможность участия в сооружении и эксплуатации новых атомных станций типа АЭС-2006 и НТП оборудование, системы, материалы, технологии, управленческие решения, направленные на улучшение их технических и экономических характеристик, и превосходящие по своим качествам современные отечественные и мировые аналоги.

В программе Ярмарки предусмотрена выставка передовых отраслевых и внеотраслевых инновационных разработок для атомных станций, а также конференция и ряд круглых столов, на которых будут обсуждаться следующие вопросы:

- Привлечение внебюджетных инвестиций в производство инновационной продукции для АЭС, создание механизмов венчурного инвестирования.
- Стимулирование развития инноваций в области нового оборудования и технологий для сооружения АЭС.
- Правовое регулирование процесса обращения объектов интеллектуальной собственности (ОИС), в том числе созданной за счет средств федерального бюджета.
- Кадровое обеспечение крупномасштабного развития атомной энергетики.
- Стратегия научного поиска и организации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в атомной отрасли на долгосрочный период.
- Критерии отбора инновационных проектов для АЭС-2006 и НТП.
- Роль российского бизнеса в экономическом развитии атомной отрасли.

Форум проводится 24 апреля 2007 г. по адресу: г.Москва, Центр международной торговли, Краснопресненская наб., 12.