

К ВОПРОСУ О СИСТЕМНОМ ИССЛЕДОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ*

А.М. Бахметьев, И.А. Былов

*Федеральный научно-производственный центр ФГУП ОКБМ им. И.И. Африкантова,
г. Н.Новгород*



Изложены подходы к созданию методического обеспечения, программных комплексов, организационных процедур для системного исследования безопасности установок различного типа и назначения с использованием вероятностных методов.

ВВЕДЕНИЕ

Современные отечественные требования к анализу и обоснованию безопасности ядерных установок [1-3], руководства МАГАТЭ [4, 5] предусматривают использование детерминистского и вероятностного подходов как необходимого условия полноты исследования безопасности. Представлены разработки Федерального научно-производственного центра ОКБМ им. И.И. Африкантова в рамках создания методического обеспечения, программных комплексов, организационных процедур для системного исследования безопасности установок различного типа и назначения с использованием вероятностных методов.

СИСТЕМНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Центральным вектором исследований безопасности ядерной установки (ЯУ) как сложной «человеко-машинной» системы с использованием вероятностных методов является обеспечение системности анализа, которая достигается

- развитием вероятностного анализа как необходимого дополнения к детерминистскому анализу безопасности;
- наличием взаимосвязанных работ по исследованию безопасности, охватывающих все этапы жизненного цикла установки, комплексным учетом различных вопросов;
- созданием необходимой инфраструктуры для эффективного выполнения работ. Рассмотрим подробнее каждое из указанных направлений.

Вероятностный анализ развивается как важное дополнение к детерминистскому подходу, поскольку обеспечивает системность анализа безопасности в двух плоско-

© А.М. Бахметьев, И.А. Былов, 2006

* Доклад представлен на IX Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров» (г. Обнинск, 24-28 октября 2005 г.)

стях. Рассматривая вопрос в одной из плоскостей, отметим, что необходимым элементом исследования свойств любого сложного объекта является анализ с позиции достоинств и недостатков, сильных и слабых сторон (звеньев). В рамках детерминистского подхода обосновывается, что системы и оборудование удовлетворяют требованиям норм, аварии протекают без неблагоприятных последствий или имеют ограниченные последствия, возможные ошибки эксплуатационного персонала нейтрализуются действием защит и т.д. Основной вывод детерминистского анализа – вопросы безопасности решены в соответствии с нормативными требованиями, достигнутому уровню развития науки и техники. Это не исключает, безусловно, в процессе итерационного анализа выявление определенных недостатков в проектных решениях и их устранение. У вероятностного анализа иная направленность. В рамках этого анализа важно определить, в каких условиях отсутствует успех в выполнении функций безопасности и могут реализоваться различные неблагоприятные последствия. Именно это сочетание исследований, как с позиции достоинств, успеха, так и с позиции потенциально возможного «неуспеха», слабых звеньев обеспечивает полноту анализа безопасности.

С другой стороны, если в рамках детерминистского анализа безопасности применительно к ядерной установке различные системы, барьеры, уровни защиты, проектные и запроектные аварии рассматриваются в определенной степени отдельно друг от друга, то в рамках вероятностного анализа ставится задача исследования и количественной оценки безопасности установки в целом, как сложной системы взаимосвязанных элементов и факторов, включая человеческий фактор в его благоприятных и неблагоприятных с точки зрения безопасности проявлениях. В рамках вероятностного анализа безопасности (ВАБ) осуществляется разработка логико-вероятностной модели ядерной установки, проводится всестороннее исследование в рамках этой модели потенциально возможных неблагоприятных событий (отказов, ошибок, внутренних и внешних воздействий) и их сочетаний (сценариев аварий), способных нарушить физические барьеры глубокоошелонированной защиты с оценкой последствий этих нарушений и вероятности их возникновения. Исследуется влияние различных факторов на последствия аварий и вероятностные показатели.

Таким образом, вероятностный анализ, дополняя детерминистский анализ безопасности, моделирует глубокоошелонированную защиту во взаимосвязи всех ее уровней и компонентов и обеспечивает выявление «слабых звеньев» в технических решениях и регламенте эксплуатации ядерной установки с определением мер по совершенствованию безопасности. Тем самым достигается системность анализа безопасности ядерной установки в целом, сбалансированность проектных решений. Именно такое понимание роли и значения ВАБ, а не только как инструмента получения тех или иных количественных оценок, обеспечивает, как показывает опыт, эффективность его прикладного применения.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Требования системности обуславливают необходимость проведения исследований на различных этапах жизненного цикла установки с учетом специфики каждого из этапов. Используемая в ОКБМ этапность работ по исследованию безопасности с использованием вероятностных методов представлена в табл. 1.

Изложенные подходы апробированы на практике как при разработке новых проектов, так и при авторском надзоре за действующими установками. Исключением является мониторинг риска, технология которого находится в настоящее время в стадии разработки.

Таблица 1

Задачи анализа безопасности с использованием вероятностных методов для различных стадий жизненного цикла ядерной установки

| Решаемые задачи | Методы | Результат |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Техническое предложение по РУ | | |
| Определение количественных показателей безопасности и принципов их обеспечения. | Анализ требований НД, руководства МАГАТЭ, требований к усовершенствованным ЯУ, результатов исследований прототипных установок. | Вероятностные показатели безопасности в ТЗ на установку: <ul style="list-style-type: none"> • вероятность тяжелого повреждения активной зоны; • среднее число аварийных остановов реактора в год. Концепция безопасности: общие требования по структуре и составу систем безопасности. |
| Эскизный проект РУ | | |
| Разработка предложений по резервированию и разнообразию систем. Сравнительный анализ вариантов построения систем безопасности (СБ). | Предварительные оценки надежности исполнительных систем безопасности, вероятности проектных и запроектных аварий. | Рекомендации по структуре и составу СБ. Уточнение перечня проектных и запроектных аварий. |
| Технический проект РУ | | |
| 1. Оптимизация структуры и состава СБ, определение регламента проверок работоспособности. 2. Формирование требований к надежности СБ ядерной установки, находящихся за рамками проекта РУ. | Анализ надежности систем безопасности и вероятностный анализ аварий с учетом особенностей структуры и состава РУ, систем безопасности, опыта эксплуатации прототипов, влияния ошибок персонала, отказов по общей причине, технического обслуживания и ремонта оборудования. | 1. Уточнение структуры и состава СБ. 2. Рекомендации по регламенту проверок работоспособности оборудования, условиям безопасной эксплуатации по техническому обслуживанию и ремонту оборудования при работе реактора на мощности. 3. Требования к надежности СБ ядерной установки за пределами проекта РУ. |
| Проект ядерной установки | | |
| Обеспечение сбалансированности технических решений и организационных мер по безопасности. | Вероятностный анализ безопасности: <ul style="list-style-type: none"> • разработка логико-вероятностной модели ядерной установки и базы данных; • определение доминирующих аварийных последовательностей (АП) - комбинаций исходных событий (ИС), отказов оборудования и ошибок персонала, которые могут привести к неблагоприятным состояниям со значительной вероятностью; • определение относительной значимости (влияния на вероятностные показатели безопасности) различных систем, оборудования и ошибок персонала; • анализ важных зависимостей между событиями, системами, действиями персонала, которые влияют на вероятностные показатели безопасности; • выявление важных аварийных последовательностей с точки зрения необходимости выполнения дополнительного детерминистского анализа аварий, выполнение указанного анализа и уточнение модели ЯУ. | 1. Рекомендации по исключению «слабых звеньев» проекта в системе мер по обеспечению безопасности. 2. Рекомендации по разработке эксплуатационной документации в части мер по предотвращению аварий и управления ими. 3. Оценка соответствия проекта нормативным ориентирам по вероятностным показателям. |
| Эксплуатация ядерной установки | | |
| Авторское сопровождение, оценка мероприятий по модернизации систем, важных для безопасности, совершенствованию эксплуатационной документации. Обоснование мероприятий по совершенствованию безопасности при продлении срока эксплуатации. Поддержка персонала при проведении технического обслуживания и ремонта оборудования, важного для безопасности. Выявление «предшественников» аварий и внедрение корректирующих мер. | Оценка показателей надежности элементов СБ и тенденций их изменения (мониторинг надежности). Статистическая оценка индикаторов безопасности и тенденций их изменения (интенсивность срабатываний АЗ, частичных снижений мощности и др.) - мониторинг безопасности. Анализ надежности модернизированных СБ, развивающийся вероятностный анализ безопасности. Мониторинг риска. | 1. Рекомендации по замене оборудования, выработавшего ресурс. 2. Корректирующие меры по результатам анализа индикаторов безопасности. 3. Оценка эффективности модернизации технических решений и совершенствования эксплуатационной документации, в том числе при продлении срока эксплуатации. 4. Оперативная оценка вероятностных показателей установки с учетом конкретного состояния систем и оборудования с целью предупреждения о состояниях с низким уровнем безопасности и совершенствования регламента эксплуатации. Оценка значимости нарушений в работе энергоблока, инцидентов по отношению к определенным показателям безопасности с целью принятия дополнительных мер защиты к наиболее критичным событиям. Обучение персонала станции в части влияния на безопасность различных событий и их комбинаций. |

Планомерность и этапность работ, начиная с ранних стадий проектирования, позволяют не только всесторонне исследовать объект анализа, но и последовательно совершенствовать меры обеспечения безопасности, органично внедряя усовершенствования в проект ядерной установки.

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Основные элементы инфраструктуры, в рамках которой выполняются исследования безопасности с использованием вероятностных методов, представлены на рис. 1.

Отправной точкой исследования являются требования нормативных документов в области государственного регулирования безопасности, рекомендации руководств МАГАТЭ, требования эксплуатирующих организаций к усовершенствованным установкам, а также уровень исследований и достигнутые показатели в проектах усовершенствованных установок. Наряду с изучением указанной нормативной и проектной баз специалисты ОКБМ принимали непосредственное участие в разработке нормативных документов [6–7] и ряда др.



Рис. 1. Инфраструктура исследований безопасности ядерных установок с использованием вероятностных методов

Следует подчеркнуть, что ВАБ – «тонкая» технология, сочетающая инженерный анализ сложных систем, компонентов ядерной установки, действий персонала, особенностей протекания аварийных процессов, логико-вероятностное моделирование, экспертное оценивание. Поэтому эффективное применение ВАБ требует методической подготовки специалистов, опыта системных исследований, культуры безопасности, объективного подхода к оценке проекта. Важное значение имеет подготовка квалифицированных кадров. Специалистами ОКБМ уделяется постоянное внимание вопросам создания учебных пособий для вузов [8–10]. Одним из авторов на протяжении ряда лет читается курс лекций студентам физико-технического факультета Нижегородского технического университета по вопросам безопасности, где определенное внимание уделяется изучению будущими специалистами методологии вероятностного анализа.

Опыт эксплуатации отечественных и зарубежных установок является важнейшей питательной средой для формирования базы данных и знаний для ВАБ. В ОКБМ разработана информационно-поисковая система (ИПС) «Источник» [11], с использованием которой аккумулируется опыт нарушений в работе оборудования, инцидентов и аварий отечественных и зарубежных установок.

Что касается действующих установок разработки ОКБМ, то для всех развиваются компьютерные системы мониторинга надежности и безопасности на основе совершенствования и развития ИПС «Источник». Как один из результатов указанной работы в ОКБМ сформированы базы данных по надежности оборудования, вероятностям исходных событий для судовых установок, установки БН-600, промышленных реакторов.

Организация работ на предприятии регламентируется стандартом предприятия «Обеспечение безопасности ядерных установок» (СТП МИ 02.04 -117-2003), где отражены вопросы этапности работ по выполнению анализа безопасности с использованием вероятностных методов, организации обратной связи между эксплуатирующими организациями и ОКБМ в части безопасности.

В развитие требований нормативных документов, руководств МАГАТЭ в ОКБМ с участием РНЦ «Курчатовский институт» сформирован комплект руководств по выполнению задач вероятностного анализа безопасности согласно схеме на рис. 2.

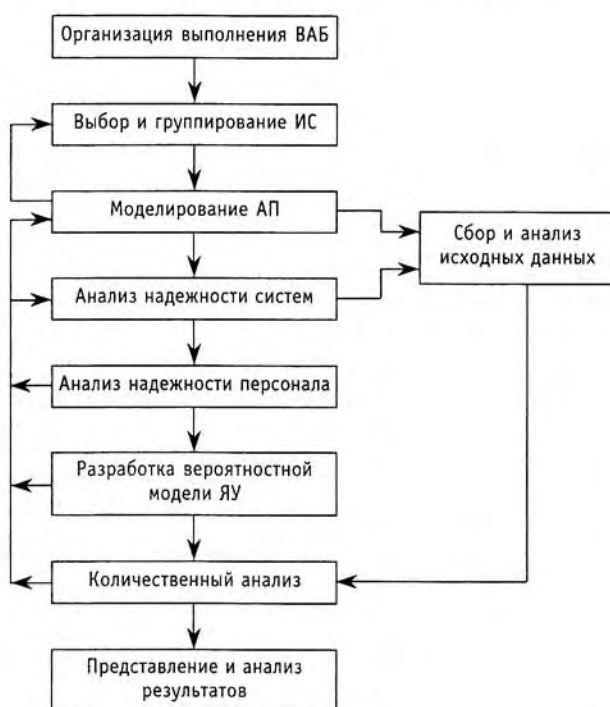


Рис. 2. Основные задачи при выполнении ВАБ ядерной установки

Значительное внимание на протяжении последних 20 лет уделяется созданию и совершенствованию программных комплексов для моделирования систем, отдельных компонентов и ядерной установки в целом при проведении ВАБ, характеристика которых будет представлена ниже. Наряду с собственными разработками в ОКБМ освоены известные американские программные комплексы SAFTA и MACSS 2. Программа SAFTA предназначена для моделирования систем и аварийных последовательностей, и использовалась при разработке ВАБ промышленных реакторов в рамках российско-американского сотрудничества. Программа MACCS 2 является унифицированной программой оценки радиационных последствий на местности в результате выброса радиоактивных веществ в атмосферу. Программа MACCS 2 оценивает риск радиационного воздействия от возможного выброса радиоактивных веществ в атмосферу с помощью метода случайной выборки метеорологических условий, реализуе-

мых в течение года. Анализ радиационных последствий аварий выполняется с учетом моделирования защитных мероприятий, проводимых после возникновения аварии, в целях уменьшения дозы облучения населения.

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ

Выполнение вероятностного анализа безопасности предусматривает разработку сложной логико-вероятностной модели ядерной установки с проведением всестороннего ее исследования, что требует соответствующего программного обеспечения.

В конце 80 – начале 90 годов в ОКБМ разрабатываются и вводятся в эксплуатацию программы анализа систем безопасности, сценариев развития аварии для ЭВМ ЕС-1066 CRISS и TREES. Программы широко используются для поддержки процесса проектирования установок АСТ-500, БН-600, ВПБЭР-600, АЭС малой мощности и транспортных установок.

По мере развития компьютерной техники и накопления опыта исследований совершенствуется программное обеспечение для ВАБ, и в настоящее время в эксплуатации находится программный комплекс IV поколения CRISS 4.0, предназначенный для использования на персональном компьютере типа IBM PC, работающем под управлением операционной системы MS Windows [12].

Моделирование систем безопасности и аварийных последовательностей с использованием программного комплекса осуществляется в виде деревьев отказов (ДО) и деревьев событий (ДС) с проведением их качественного и количественного анализа. При этом решаются следующие задачи:

- накопление в базах данных информации о составе систем безопасности, исходных событиях аварий, учитываемых ошибках персонала и показателях надежности оборудования ядерной установки, включая параметры моделей учета отказов по общей причине (ООП), частотах исходных событий, регламенте проверок работоспособности элементов систем безопасности;
- управление реляционными базами данных;
- создание и редактирование ДО и ДС;
- проведение качественного и количественного анализа ДО;
- выполнение анализа значимости, чувствительности и неопределенности;
- редактирование минимальных сечений;
- вывод на печать и сохранение в стандартных форматах MS Word и MS Excel графических изображений ДО и ДС, результатов качественного и количественного анализа, анализа значимости, чувствительности и неопределенности для формирования отчетной документации.

Реализованный в CRISS 4.0 алгоритм анализа ориентирован на возможность эффективной обработки больших ДО с автоматизированным учетом зависимостей, обусловленных отказами по общей причине. С этой целью проводится модуляризация ДО, отсеивание незначимых сечений по абсолютному критерию. Количественный анализ выполняется по асимптотическим формулам без применения численного интегрирования.

В рамках количественного анализа проводится анализ значимости минимальных сечений, базисных событий, определенных наборов минимальных сечений и базисных событий, типов отказов и систем безопасности. Предусмотрена возможность анализа чувствительности результатов анализа. На основе данных по неопределенности показателей надежности базисных событий может быть выполнен анализ неопределенности результирующих показателей надежности и безопасности методом Монте-Карло.

Для оперативной модификации логико-вероятностной модели систем, аварийных последовательностей и установки в целом полученный набор минимальных сечений может быть отредактирован пользователем с уточнением исходных данных и результирующих показателей.

Выполнена верификация программы путем сравнения результатов анализа по программе CRISS 4.0 с аналитическими формулами (аналитические тесты) и результатами качественного и количественного анализа по зарубежным программным средствам, широко используемым при проведении ВАБ ядерных установок: Risk Spectrum (Швеция) и CAFTA for Windows (США) (расчетные тесты).

Результаты верификации позволяют сделать следующие выводы:

- выполнение качественного анализа логических моделей расчетных тестов по программам CAFTA for Windows (США), Risk Spectrum (Швеция) и с помощью программы CRISS 4.0 дает одинаковые наборы минимальных сечений;

- количественный анализ расчетных тестовых примеров с использованием программы CRISS 4.0 дает одинаковый или более консервативный результат (до 4%) в силу более точного учета в алгоритме программы отказов в режиме ожидания в резервированных системах;

- аналитические тесты также подтвердили правильность расчетных алгоритмов.

Практическая апробация программы CRISS 4.0 и результаты верификации показали ее эффективность и возможность широкого использования для проведения ВАБ ядерных установок различного типа.

ПРОГРАММА ДЛЯ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Для анализа надежности корпусов оборудования ядерных установок разработана программа АНКОРТ[13]. В качестве исходных данных для анализа используются вероятностные распределения глубины дефекта, физико-механических свойств материала, концентрации примесей (медь, фосфор), эффективности неразрушающего контроля при эксплуатации.

Нагружение конструкции во времени моделируется в соответствии с реальными условиями чередования нагрузок.

Предусмотрено численное моделирование поведения трещиноподобного дефекта и оценка предельного состояния вследствие его развития методами линейной и нелинейной механики разрушения. При этом процесс распространения трещины в металле до критических размеров моделируется при помощи уравнения Пэриса. Используемая методика предусматривает оценку предельных состояний в хрупкой, квазихрупкой и вязкой областях. Оценка критических размеров дефекта осуществляется посредством сравнения расчетных коэффициентов интенсивности напряжений с допускаемыми значениями, которые определяются в хрупкой области по критерию линейной механики разрушения, а в квазихрупкой и вязкой – по критерию нелинейной механики разрушения.

Для количественной оценки вероятности потери работоспособности корпусного оборудования используется метод дискретизации. Непрерывные случайные величины аппроксимируются дискретными величинами с соответствующими вероятностями их реализации. Вероятность Q потери работоспособности определяется для всех случаев наступления предельных состояний через вероятности P_{ij} реализации каждой случайной величины, учитываемой в анализе $Q = \sum_i \prod_j P_{ij}$. Здесь суммирование

ведется по случаям наступления предельного состояния, а произведение по набору случайных величин, при реализации которых возникает предельное состояние.

Программа АНКОРТ апробирована при анализе корпусов судовых установок и реактора ВБЭР-300. Наряду с оценкой вероятности разрушения корпуса реактора программа является инженерным инструментом для исследования влияния особенностей конструктивных решений, свойств материалов и эксплуатационных факторов на надежность корпусных конструкций.

ОПЫТ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Специалистами ОКБМ на протяжении двух последних десятилетий выполнены многочисленные исследования безопасности с использованием вероятностных методов для установок различного типа и назначения. К числу наиболее крупных исследований следует отнести ВАБ 1-го уровня для Воронежской АСТ и АСТ500М в привязке к Сибирскому химкомбинату. В рамках международного контракта с PNNL (США) выполнен ВАБ-1 для промышленных уран-графитовых реакторов. Проведена предварительная оценка риска для энергоблока с газоохлаждаемым реактором по контракту с General Atomic (США). В процессе лицензирования сооружения плавучей АТЭС выполнен вероятностный анализ безопасности энергоблока с реакторной установкой КЛТ-40С. По контракту с JNC (Япония) проведен ВАБ 1-го уровня для установки с реактором на быстрых нейтронах (БН-600).

Вопросы мониторинга надежности и безопасности судовых установок, установки БН-600 отражаются в ежегодных отчетах по опыту их эксплуатации.

Результаты указанных исследований являются предметом отдельного рассмотрения. При этом во всех случаях разрабатывались конкретные рекомендации по совершенствованию технических решений, эксплуатационных процедур, подготовки персонала в части управления авариями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изложены вопросы формирования технологии системного исследования безопасности ядерных установок в процессе проектирования и авторского надзора с использованием вероятностных методов.

2. В рамках системного подхода вероятностный анализ обеспечивает полноту анализа, дополняя детерминистское обоснование эффективности мер безопасности исследованием слабых звеньев проекта и моделированием глубокошелонированной защиты во взаимосвязи всех ее уровней и компонентов.

3. Рассмотрена этапность работ на различных стадиях жизненного цикла ядерной установки как необходимое условие последовательного совершенствования мер обеспечения безопасности и контроля за ее уровнем.

4. Представлен опыт внедрения важнейших элементов системного подхода, включающих подготовку кадров, организацию работ, создание руководств и программных комплексов, баз данных и знаний.

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97 НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97), Госатомнадзор России//Атомная энергия. – 1997. – Т. 83. – Вып. 6.
2. Общие положения обеспечения безопасности ядерных энергетических установок судов. НП-022-2000. – М.: Госатомнадзор России, 2000.
3. Общие положения обеспечения ядерной и радиационной безопасности корабельных ядерных энергетических установок. ОПБ-К-98. – М., 1998.
4. Основные принципы безопасности атомных электростанций. Отчет Международной консультативной группы по ядерной безопасности (серия изданий по безопасности №75-INSAG-3). Информационный бюллетень №2(7). – М.: Госатомнадзор СССР, 1988.

5. Safety Standards Series № NS-G-1.2. Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants. Safety Guide. – IAEA, Vienna, 2001.
6. Рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций уровня 1 для внутренних иницирующих событий (при работе блока в режиме выработки электроэнергии во внешнюю сеть). РБ-024-02. – М.: Госатомнадзор РФ, 2002.
7. Основные рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций. РБ-032-04. – М.: Госатомнадзор РФ, 2004.
8. *Самойлов О.Б., Бахметьев А.М., Чирков В.А.* Вероятностные методы в исследованиях безопасности атомных станций: Учебн. пособие. – Горький: Изд.-во Горьк. политех. ин-та, 1985. – 74 с.
9. *Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М.* Безопасность ядерных энергетических установок: Учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
10. *Бахметьев А.М.* Основы безопасности атомных станций: Учебн. пособие. – НГТУ, 2004.
11. *Бахметьев А.М., Макеев Ю.А., Морев А.В., Петелин В.А.* Создание и совершенствование в ОКБМ баз данных по опыту эксплуатации ядерных установок/Доклад на отраслевом научно-техническом совещании «Состояние отраслевой информационно-аналитической системы по опыту эксплуатации АЭС» (Москва, 18-19 ноября 2003 г.). – М.: ВНИИАЭС, 2003.
12. *Бахметьев А.М., Былов И.А.* Отечественный программный комплекс для проведения ВАБ АЭС и его верификация/Научно-техническая конф. «Практика разработки ВАБ и использования их результатов для действующих и вновь проектируемых АЭС с ВВЭР» (Москва, 18-20 ноября 2002 г.).
13. *Бахметьев А.М., Кайдалов В.Б., Силаев В.М., Сухонина Н.М.* Программа вероятностного анализа потери работоспособности корпусов оборудования ядерных установок и ее апробация для водо-водяных реакторов/Научно-техническая конф. «Практика разработки ВАБ и использования их результатов для действующих и вновь проектируемых АЭС с ВВЭР» (Москва, 18-20 ноября 2002 г.).

Поступила в редакцию 10.02.2006

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

On the Problem of System Investigation of Nuclear Plant Safety using Probabilistic Methods \A.M. Bakhmetiev, I.A. Bylov; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 9 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 13 titles.

Approaches to methodical support, program complexes, organizational procedures for system safety investigation of different type and purpose plants with the help of probabilistic methods are stated.

УДК 621.039.58

On the System of BN-600 Power Unit Safety and Reliability Monitoring \A. Bakhmetiev, J. Kamanin, J. Makeev, L. Popov; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 8 pages, 7 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.

Status of BN-600 plant reliability and safety monitoring system development is presented. Goals of system creation, contents of its main elements, characteristics of developed computer database are stated. Some results of statistic analysis of plant operating experience are given.

УДК 621.039.58

Steam Generator Heat-Exchange Tubes Contamination Analysis and Inter-Washing Period Estimation using Diffusion Process Method \O.M. Gulina, K.A. Kornienko, M.N. Pavlova; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 5 pages, 2 illustrations, 2 tables. – References, 5 titles.

Periodical washing of SG heat-exchange tubes delays the rate of local corrosion processes and is one of the ways of lifetime management. Was approximated statistical dependence of number of muffled tubes from the height of tubes lattice and from specific contamination. Was developed an equation of non-linear up growth for specific contamination. Values of SG inter-washing period for different levels of contamination with approximation results were calculated using diffusion processes theory methods.

УДК 621.039.534

The Investigation of the Acoustic Level Limit Switch of Water Boiling Coolant \V.I. Melnikov, V.V. Ivanov, V.N. Chocklov, A.V. Dunzev, E.A. Semenov, Y.A. Kiselev, A.N. Sinicin, I.N. Kiselev, A.V. Belin; Editorial board of journal «Izvestia vissikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2006. – 8 pages, 7 illustrations. – References, 4 titles.

The acoustic probe system for a level and amount of liquid phase analysis into control volume on examination of a vapor distribution along the height has been studied.

The principle of function of the probe is based on the determination of an amplitude of ultrasound signals. Vapor phase is indicated according to significant reduction of the amplitude of ultrasound impulses, if vapor bubbles put into control volume.

The waveguides probes operating in frequency band near 600kHz are placed in the transducer; the pulse recurrence frequency is 800Hz.

The measuring system by computer PC controls the service of electronic bloc and it makes possible the experimental data processing.

The acoustic probe system allows to determinate the state of phase into 8 local volumes by probes placed along the height of vessel and to study dispersing properties of the vapor liquid water mixture.

The testing of the level gage has carried out by air-lift system at normal temperature and pressure and by special stand high pressure conditions, where the boiling process of coolant is initiated by depressurization of stand.