

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Н.И. Гераскин В.И. Наумов

**КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК**

*Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии»
в качестве учебно-методического пособия
для студентов высших учебных заведений*

Москва 2008

УДК 621.039.5(07)
ББК 31.46я7
Г37

Гераскин Н.И., Наумов В.И. **Курсовое проектирование ядерно-энергетических установок:** Учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта и выпускной квалификационной работы на степень бакалавра. М.: МИФИ, 2008. – 52 с.

В пособии описаны цель, задачи и объем проекта. Особое внимание уделено расчетной и конструкторской частям проекта. Приведены типовые схемы ядерных топливных циклов.

Сформулированы требования к знаниям и компетенциям студентов, защищающих проект как выпускную квалификационную работу на степень бакалавра. Приведены правила оформления проекта.

В приложении приведены необходимые выдержки из нормативных документов по безопасности реакторов: ОПБ-88/97 и ПБЯ РУ АС -89.

Данное пособие рекомендовано студентам, обучающимся по направлению подготовки 140300 «Ядерные физика и технологи».

Пособие подготовлено в рамках Инновационной образовательной программы.

Рецензент зав. кафедрой, доцент ГТУАЭ Д.А. Клинов

ISBN 978-5-7262-1072-8

© Московский инженерно-физический институт
(государственный университет), 2008

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель проекта.....	4
2. Задание и объем проекта	4
3. Методические рекомендации и содержание расчетной части проекта	6
4. Содержание конструкторской части проекта.....	8
5. Материалы отчета по проекту	8
6. Защита проекта.....	9
7. Требования к знаниям студента, защищающего выпускную квалификационную работу на степень бакалавра.....	10
8. Основные типовые характеристики проектируемой ЯЭУ	15
9. Схемы топливных циклов ЯЭУ	17
Приложение. Выдержки из нормативных документов по безопасности реакторов: ОПБ-88/97, ПБЯ РУ АС-89	22

1. ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Курсовой проект, выполняемый студентами в течение двух семестров, имеет целью:

- ознакомить будущего специалиста с комплексом основных проблем, возникающих при проектировании ядерно-энергетических установок (ЯЭУ), их взаимосвязью и взаимным влиянием;

- дать практические навыки проведения комплексного расчета нейтронно-физических, теплогидравлических, термодинамических параметров ЯЭУ, инженерного расчета элементов и систем ЯЭУ, выбора и обоснования параметров установки, оценки показателей безопасности, проектирования основных систем и узлов реактора;

- закрепить теоретические знания, полученные в период обучения;

- ознакомить с инженерными идеями и проектами современных и перспективных ЯЭУ;

- ознакомить с существующими нормативными документами, определяющими требования к проектам ЯЭУ с точки зрения их безопасности;

- предоставить студенту возможность продемонстрировать свой творческий потенциал в области обоснования концепций и конструкторских решений при проектировании ЯЭУ.

Для студентов бакалавриата курсовой проект является выпускной квалификационной работой (ВКР) на степень бакалавра.

Выполнение и защита ВКР рассматриваются как важный элемент профилизации при подготовке бакалавра и направлены на развитие умения творчески применять полученные теоретические и практические знания в области фундаментальной и специальной подготовки. Защита ВКР является завершающим этапом государственной аттестации.

2. ЗАДАНИЕ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

Задание на курсовой проект формулируется следующим образом:

спроектировать ЯЭУ заданного типа и заданной мощности для атомной электростанции (АЭС) или другой энергосиловой установки с заданными характеристиками.

В задании может быть предложена элементная база для проекта: тип твэлов и ТВС, тип топлива, обогащение, тип замедлителя и т.д.

Задание включает:

- разработку принципиальной теплосиловой схемы установки;
- нейтронно-физический расчет активной зоны реактора;
- теплофизический расчет реактора;
- конструирование основных элементов и узлов активной зоны;
- конструирование общей компоновки ЯЭУ;
- расчет параметров, относящихся к обеспечению управления и безопасности ЯЭУ;
- разработку общей схемы обеспечения безопасности ЯЭУ;
- расчет основных экономических показателей ЯЭУ, обоснование эффективности и конкурентоспособности установки.

Курсовой проект по объему и глубине проработки носит пред-эскизный характер. В нем должны быть отражены принципиальные моменты, влияющие на инженерные решения и характеристики ЯЭУ. Методы, применяемые при расчетах, должны обеспечивать получение достоверных качественных и количественных результатов, позволяющих обосновать проектные решения и выбор рабочих параметров установки. Для обеспечения требуемого уровня достоверности результатов следует использовать имеющиеся в распоряжении кафедры стандартные учебные и расчетные компьютерные программы.

В расчетах и конструкторских проработках должны быть отражены основные специфические особенности реактора данного типа с учетом современных требований безопасности.

Выполнение курсового проекта рассчитано на два семестра.

В течение первого семестра проектант должен выполнить нейтронно-физические и тепловые расчеты в обоснование стационарного режима работы ЯЭУ как источника энергии, разработать принципиальную конструкцию реактора и тепловую схему установки. В течение второго семестра проектант должен выполнить расчеты и проектные разработки в обоснование безопасности ЯЭУ, включая

расчет коэффициентов и эффектов реактивности, обоснование эффективности системы управления реактора, требования к системе контроля, разработку структуры и требования к системам безопасности, анализ сценариев проектных ситуаций.

Основная цель второго этапа – приведение проекта ЯЭУ в соответствие с существующими нормативными документами по безопасности реакторов: ОПБ–88/97, ПБЯ РУ АС–89 (см. приложение).

В течение второго этапа выполняется также анализ и обоснование экономических показателей ЯЭУ.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

3.1. Термодинамический анализ ЯЭУ:

определение температур теплоносителя в активной зоне и элементах теплообменного оборудования, подогрева, расходов теплоносителя и рабочего тела установки;

определение энергозатрат на собственные нужды;

определение коэффициента полезного действия и необходимой тепловой мощности реактора.

3.2. Тепловой расчет реактора:

расчет допустимой плотности энерговыделения, тепловых потоков, температур топлива, теплоносителя для наиболее напряженного канала (элемента) активной зоны, мощности наиболее напряженного канала (элемента) с учетом технологических запасов до допустимых предельных значений основных определяющих параметров;

обоснование средних параметров теплоносителя и характеристик активной зоны на основе данных нейтронно-физического анализа распределения плотности и коэффициентов неравномерности.

3.3. Нейтронно-физический расчет:

обоснование композиции активной зоны реактора на основе вариантов расчетов размножающей среды;

расчет глубины выгорания и нуклидного состава топлива;

расчет пространственного распределения плотности энерговыделения и коэффициентов неравномерности;

обоснование размеров активной зоны;

определение полной загрузки реактора и годового расхода ядерного топлива;

определение запаса реактивности на обеспечение работы реактора за период между перегрузками топлива;

определение эффективности системы регуляторов.

3.4. Расчет на прочность наиболее напряженных элементов конструкции реактора (покрытия твэлов, технологические трубы, корпус реактора и др.).

3.5. Обоснование безопасности ЯЭУ:

расчет эффективной доли запаздывающих нейтронов;

расчет коэффициентов реактивности;

расчет изменений реактивности, соответствующих возможным штатным состояниям реактора (пониженная мощность, переотравление, разотравление реактора, расхиленное состояние активной зоны и пр.);

определение состояний с максимальной и минимальной реактивностью, с минимальной эффективностью органов регулирования;

обоснование распределения функций системы регуляторов (автоматическое регулирование – АР, ручное регулирование – РР, аварийная защита – АЗ);

определение условий срабатывания аварийной защиты и ввода в действие систем безопасности;

расчет аккумулированного тепла в топливе и элементах конструкции активной зоны, расчет остаточного энерговыделения после срабатывания АЗ;

обоснование времени включения, интенсивности и длительности аварийного охлаждения активной зоны для предотвращения разрушения топлива;

обоснование и формулирование требований к системам безопасности (управляющим, обеспечивающим, защитным и локализирующим);

расчетная демонстрация обеспечения безопасности на примерах проектных аварийных ситуаций (ввод положительной активности, нарушение теплоотвода и др.);

3.6. Технико-экономическое обоснование проекта:

сравнительный анализ и выбор типа топливного цикла;

определение объемов производств предприятий топливного цикла, обеспечивающих работу ЯЭУ (природные ресурсы, обогащение, производство твэлов и ТВС, хранение облученного топлива, транспортировка, переработка и др.);

определение себестоимости и оценка расчетных затрат;

оценка конкурентоспособности проектируемой ЯЭУ.

При оценке конкурентоспособности допускается использование методик и части результатов ДЗ по курсу «Экономика и проблемы ядерной энергетики», выполненных проектантом.

4. СОДЕРЖАНИЕ КОНСТРУКТОРСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

4.1. Принципиальная технологическая схема ЯЭУ.

4.2. Конструкция твэла, ТВС.

4.3. Конструкция активной зоны.

4.4. Конструкция органов управления и аварийной защиты.

4.5. Общая компоновка ЯЭУ.

4.6. Принципиальная схема контроля, управления, обеспечения безопасности реактора.

В зависимости от типа реактора и конкретного задания на проектирование объем и содержание конструкторской части могут быть частично изменены.

5. МАТЕРИАЛЫ ОТЧЕТА ПО ПРОЕКТУ

Отчетный материал по проекту в виде пояснительной записки и демонстрационных чертежей состоит из двух частей в соответствии с двумя этапами и объемом задания на каждый семестр. Все материалы оформляются в соответствии с существующими требованиями ЕСКД. Пояснительная записка подписывается проектантом и консультантами по разделам проекта. Чертежи подписываются проектантом и консультантом по конструкторской части.

Расчетный материал пояснительной записки следует представить в виде специальных разделов, относящихся к термодинамическому, теплотехническому, нейтронно-физическому, прочностному, технико-экономическому расчету ЯЭУ.

Пояснительная записка первой части содержит:

- техническое задание на проектирование;
- введение, в котором изложены основные принципы и особенности данной реакторной концепции и сформулированы основные вопросы, которые должны быть решены в ходе проектирования;
- исходные данные, необходимые для выполнения расчетных исследований;
- краткое описание методик и расчетных программ, используемых в расчетах;
- результаты расчетов в виде таблиц и графиков с соответствующими комментариями и обоснованием выбора рабочих параметров проекта;
- заключение, характеризующее проект в целом.

Пояснительная записка ко второй части проекта является продолжением первой части и содержит:

- анализ особенностей данного проекта с позиции безопасности;
- расчетный материал, относящийся к свойствам активной зоны и обоснованию ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ с соответствующими комментариями;
- краткое описание систем контроля и управления реактора;
- описание систем безопасности с учетом специфики данного проекта;
- сценарии проектных аварийных ситуаций с участием систем безопасности;
- техничко-экономическое обоснование проекта;
- заключение с выводами о соответствии проекта ЯЭУ требованиям существующих нормативных документов, его эффективности и конкурентоспособности;
- перечень основных параметров ЯЭУ (типовой перечень приведен на с. 15–16).
- список использованной литературы;
- приложения.

6. ЗАЩИТА ПРОЕКТА

Защита проекта производится перед комиссией в два этапа, в конце каждого семестра. По завершении первого этапа произво-

дится промежуточная защита проекта для студентов всех групп, включая группы бакалавриата. После завершения второго этапа проектирования производится защита проекта в целом.

Для студентов бакалавриата эта защита рассматривается как защита выпускной квалификационной работы на степень бакалавра по направлению «Ядерные физика и технологии» и производится перед ГАК бакалавриата.

В своем докладе проектант должен дать краткую характеристику проекта, сформулировать главные вопросы, решенные в ходе проектирования, прокомментировать основные конструктивные особенности и преимущества представленного проекта. Количественные данные, характеризующие основные параметры ЯЭУ, представляются на отдельном демонстрационном листе.

Защита проекта предусматривает дискуссию, в процессе которой проектант должен обосновать принятые решения и продемонстрировать свои знания в области физики и техники ЯЭУ.

При оценке защиты учитывается отношение проектанта к работе в процессе проектирования, качество отчетного материала, эрудиция и уровень знаний проектанта при защите.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ЗНАНИЯМ СТУДЕНТА, ЗАЩИЩАЮЩЕГО ПРОЕКТ КАК ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ НА СТЕПЕНЬ БАКАЛАВРА

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы является заключительным этапом обучения бакалавров и имеет своей целью:

- систематизацию и закрепление теоретических и практических знаний по профилю подготовки, полученных в процессе обучения;
- закрепление и расширение экспериментальных и расчетно-графических навыков выпускника;
- дальнейшее совершенствование навыков самостоятельного решения инженерных и исследовательских задач;

- подготовка его к самостоятельной работе в условиях современной научно-исследовательской лаборатории и производства.

Выпускник по направлению подготовки 140300 – «Ядерные физика и технологии» с квалификацией (степенью) «бакалавр» в соответствии с задачами профессиональной деятельности и целями основной образовательной программы должен обладать всеми компетенциями в соответствии с требованиями ФГОС, в том числе следующими:

а) социально-личностными и общекультурными

- понимает социальную значимость своей будущей профессии, обладает высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности;

б) общенаучными:

- знает основные методы защиты производственного персонала и населения от возможных последствий техногенных аварий, катастроф, стихийных бедствий, включая радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, связанное с ядерными и радиационными авариями на ядерных объектах и установках, владеет набором основных способов и мер по ликвидации их последствий;

- знает основные положения, законы и методы естественных наук и математики; способен на их основе представить адекватную современному уровню знаний научную картину Мира;

- готов использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в физике, теоретической физике, ядерной физике, химии, экологии, материаловедении;

- способен выявить естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

в) инструментальными:

- понимает сущность и значение информации в развитии современного общества; знает основные методы, способы и средства по-

лучения, хранения, переработки информации; имеет навыки работы с компьютером как средством управления информацией; умеет работать с традиционными носителями информации, распределенными базами знаний; способен работать с информацией в глобальных компьютерных сетях;

- свободно владеет литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи; умеет создавать и редактировать тексты профессионального назначения, анализировать логику рассуждений и высказываний;

г) профессиональными

- научно-исследовательская деятельность:

способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области;

способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;

готов к составлению отчета по выполненному заданию;

- проектная деятельность:

способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, при сборе и анализе информационных исходных данных для проектирования приборов и установок;

готов к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования ;

готов к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ;

способен к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам;

готов к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов;

Бакалавр должен:

иметь представление:

о ядерной технологии как новой энергетической технологии высшего уровня;

об основных проблемах и тенденциях развития ядерных реакторов деления, синтеза и их топливных циклов;

об областях использования, особенностях ядерных реакторов и энергетических установок, современном состоянии ядерно-энергетического комплекса;

об основных направлениях создания принципиально новых ядерных реакторов и энергетических установок, отвечающих современным требованиям безопасности и экологии;

знать:

основы ядерной и нейтронной физики, состав и характеристики ядер, теоретические основы ядерных реакций и их характеристики, основные виды и характеристики взаимодействия нейтронов с веществом;

особенности нейтронного цикла в ядерном реакторе, понятие эффективного коэффициента размножения нейтронов, условия критичности;

закономерности формирования пространственно-энергетического распределения нейтронов, способы определения и профилирования энерговыделения, роль и оценку остаточного энерговыделения;

особенности процессов выгорания и воспроизводства ядерного топлива в различных топливных циклах;

основы теории нестационарных процессов, роль запаздывающих нейтронов и коэффициентов реактивности, понятие обратных связей и устойчивости реактора, способы регулирования реактора;

системы управления и защиты ядерного реактора, автоматизированные системы контроля и управления;

средства и методы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, барьеры безопасности, принципы внутренней безопасности, активные и пассивные устройства и системы безопасности;

источники ионизирующих излучений в ядерных энергетических установках, закономерности ослабления ионизирующих излучений

в веществе, методы расчета биозащиты и мощностей доз, нормы радиационной безопасности;

законы термодинамики, циклы паро- и газотурбинных установок, энергетический баланс ядерно-энергетических установок, коэффициент полезного действия, теплогидравлические процессы в ядерных реакторах и энергетических установках, нестационарные процессы в переходных и аварийных режимах;

принципиальные конструктивные решения узлов и элементов активной зоны, реактора и реакторной установки в целом, особенности тепловых схем, основное оборудование и принципы его компоновки (парогенераторы, теплообменные аппараты, циркуляционные насосы, вспомогательные системы);

материалы ядерных реакторов и энергетических установок, свойства, поведение в условиях воздействия ионизирующих излучений, ядерное топливо, теплоносители, замедлители, конструкционные материалы, материалы защиты, методы прочностных расчетов;

технично-экономические требования к ядерным энергетическим установкам, топливной загрузке и расходу ядерного горючего, методы технико-экономических расчетов, проблемы современной экономики применительно к ядерно-энерготехнологическому производству;

уметь использовать:

методики инженерных расчетов процессов в ядерных реакторах и энергетических установках;

специальную литературу и другие информационные данные (в том числе на иностранном языке) для решения профессиональных задач;

методы моделирования и расчета при разработке новых ядерных реакторов и энергетических установок;

специфику конструкционных материалов, топливных композиций и теплоносителей при принятии проектных решений;

математические модели процессов для проведения комплексных нейтронно-физических, теплогидравлических, прочностных расчетов, исследования показателей безопасности;

иметь опыт:

исполнения схем, графиков, чертежей, диаграмм, номограмм и других профессионально значимых изображений;
работы с технической литературой, научно-техническими отчетами, справочниками и другими информационными источниками;
выполнения инженерных расчетов по основным типам профессиональных задач;
технико-экономического анализа новых разработок.

8. ОСНОВНЫЕ ТИПОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЯЭУ

Тип реактора

Электрическая мощность, МВт

Тепловая мощность, МВт

КПД, %

Параметры пара перед турбиной:

температура, °С

давление, МПа

Теплоноситель:

входная температура, °С

подогрев, °С

расход, т/ч

Топливо:

тип топлива, обогащение (или концентрация основного делящегося нуклида)

загрузка, т

выгорание, МВт·сут/т

расход, т/год

конечный нуклидный состав, кг/т

энергонапряженность, МВт/т

Активная зона:

высота/диаметр, м

шаг решетки ТВЭЛОВ и ТВС, см
число каналов (ТВС)
число каналов СУЗ
запас реактивности, %
коэффициенты реактивности

Экономические параметры ЯЭУ:

длительность и стоимость переделов топлива
доли безвозвратных потерь, %
КИУМ, %
кампания топлива, лет
топливная составляющая себестоимости, коп/кВт·ч
цена топлива, руб/г·дел.

Дополнительные характеристики и особенности проектируемой ЯЭУ уточняются руководителем и консультантами проекта.

9. СХЕМЫ ТОПЛИВНЫХ ЦИКЛОВ ЯЭУ

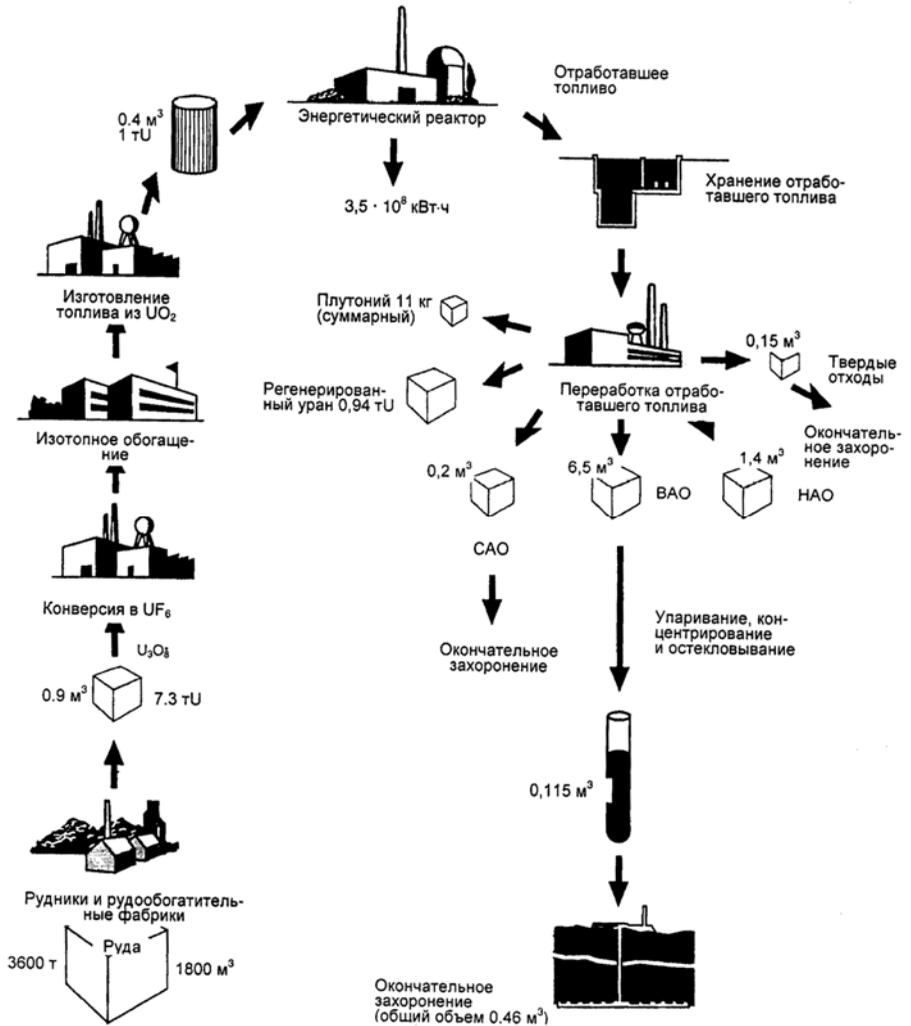


Рис. 1. Поток ядерных материалов топливного цикла легководного реактора



Рис. 2. Принципиальная схема ядерного топливного цикла с использованием природного урана

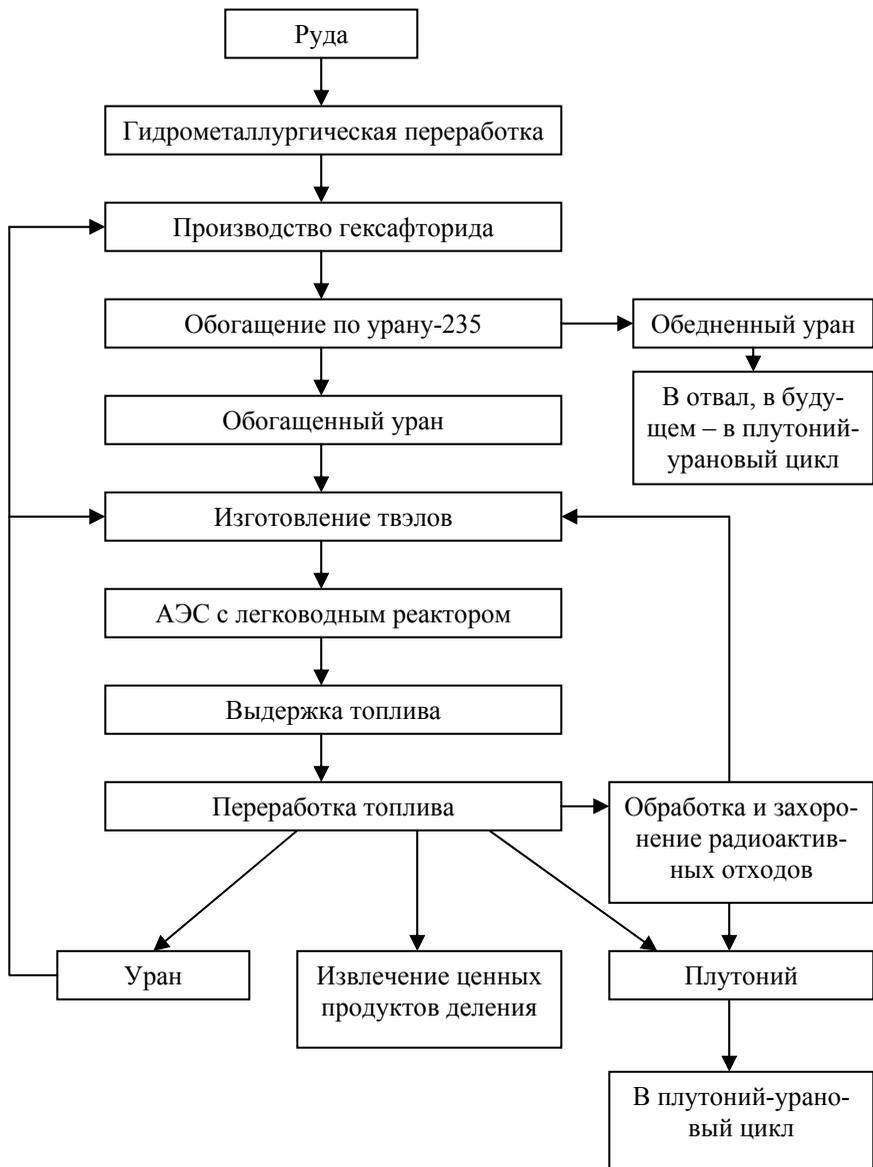


Рис. 3. Принципиальная схема ядерного топливного цикла с использованием обогащенного урана



Рис. 4. Принципиальная схема уран-ториевого топливного цикла

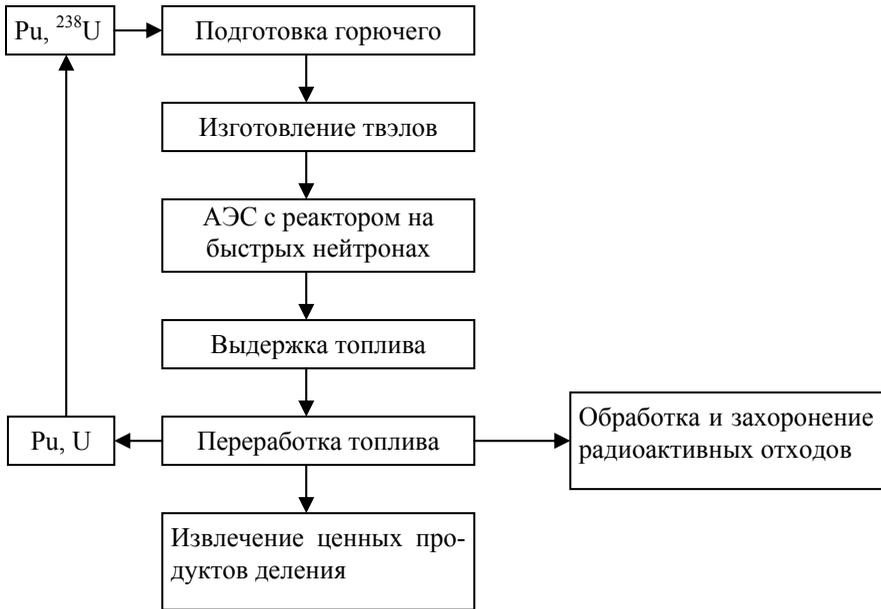


Рис. 5. Принципиальная схема плутоний-уранового топливного цикла

**ВЫДЕРЖКИ ИЗ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО
БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРОВ: ОПБ–88/97, ПБЯ РУ АС–89**

**ФЕДЕРАЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА В ОБЛАСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

***ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ОПБ–88/97***

Введены в действие с 1 июля 1998 года

Перечень сокращений

АС – атомная станция
БПУ – блочный пункт управления
БЩУ – блочный щит управления
ООБ АС – отчет по обоснованию безопасности (блока) атомной станции
РПУ – резервный пункт управления
РУ – реакторная установка
РЩУ – резервный щит управления
УСБ – управляющие системы безопасности
УСНЭ – управляющие системы нормальной эксплуатации

Основные термины и определения

1. **Авария** (событие, связанное с радиационными последствиями) – нарушение эксплуатации АС, при котором произошел выход радиоактивных веществ и/или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями.

2. **Активная система (элемент)** – система (элемент), функционирование которой зависит от нормальной работы другой системы (элемента), например УСБ энергоисточника и т.п.

...

8. **Безопасность АС**, ядерная и радиационная (далее по тексту – безопасность АС) – свойство АС при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами.

...

14. **Внутренняя самозащищенность РУ** – свойство обеспечивать безопасность на основе естественных обратных связей, процессов и характеристик.

...

17. **Зависимый отказ** (частный случай отказа по общей причине) – отказ системы (элемента), являющийся следствием другого отказа или события.

18. **Запроектная авария** – авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала.

19. **Защитные системы (элементы) безопасности** – системы (элементы), предназначенные для предотвращения или ограничения повреждений ядерного топлива, оболочек твэлов, оборудования и трубопроводов, содержащих радиоактивные вещества.

20. **Исходное событие** – единичный отказ в системах (элементах) АС, внешнее событие или ошибка персонала, которые приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и/или условий нормальной эксплуатации. Исходное событие включает все зависимые отказы, являющиеся его следствием.

...

23. **Конечное состояние** – установившееся контролируемое состояние систем и элементов АС после аварии.

24. **Консервативный подход** – подход к проектированию и конструированию, когда при анализе аварий для параметров и характеристик принимаются значения и пределы, заведомо приводящие к более неблагоприятным результатам.

25. **Контур теплоносителя реактора (первый контур)** – контур вместе с системой компенсации давления, предназначенный для циркуляции теплоносителя через активную зону в установленных проектом режимах и условиях эксплуатации.

26. **Критерии безопасности** – установленные нормативными документами и/или органами государственного регулирования безопасности значения параметров и/или характеристик АС, в соответствии с которыми обосновывается ее безопасность.

27. **Культура безопасности** – квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности АС является целью и внутренней потребностью, приводящей к самосознанию ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность.

28. **Локализирующие системы (элементы) безопасности** – системы (элементы), предназначенные для предотвращения или ограничения распространения выделяющихся при авариях радиоактивных веществ и ионизирующего излучения за предусмотренные проектом границы и выхода их окружающую среду.

...

31. **Необнаруживаемый отказ** – отказ системы (элемента), который не проявляется в момент своего возникновения при нормальной эксплуатации и не выявляется предусмотренными средствами контроля в соответствии с регламентом технического обслуживания и проверок.

...

34. **Обеспечивающие системы (элементы) безопасности** – системы (элементы), предназначенные для снабжения систем безопасности энергией, рабочей средой и создания условий их функционирования.

...

39. **Пассивная система (элемент)** – система (элемент), функционирование которой связано только с вызвавшим ее работу событием и не зависит от другой активной системы (элемента), например, управляющей системы, энергоисточника и т.п.

Примечание: по конструктивным признакам пассивные системы (элементы) делятся на пассивные системы (элементы) с механическими движущимися частями (например, обратные клапаны) и пассивные системы без механических движущихся частей (например, трубопроводы, сосуды).

...

45. **Принцип единичного отказа** – принцип, в соответствии с которым система должна выполнять заданные функции при любом требующем ее работы исходном событии и при независимом от исходного события отказе одного любого из активных элементов или пассивных элементов, имеющих механические движущиеся части.

...

47. **Проектная авария** – авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие с учетом принципа единичного отказа систем безопасности или одной, независимой от исходного события ошибки персонала, ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами.

48. **Проектные пределы** – значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и АС в целом, установленные в проекте для нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, включая предаварийные ситуации и аварии.

...

50. **Путь протекания аварии** – последовательность состояний систем и элементов АС в процессе развития аварии.

...

57. **Системы (элементы) безопасности** – системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности.

58. **Системы (элементы), важные для безопасности** – системы (элементы) безопасности, а также системы (элементы) нормальной эксплуатации, отказы которых нарушают нормальную эксплуатацию АС или препятствуют устранению отклонений от нормальной эксплуатации и могут приводить к проектным и запроектным авариям.

59. **Системы (элементы) нормальной эксплуатации** – системы (элементы), предназначенные для осуществления нормальной эксплуатации.

...

62. **Тяжелая запроектная авария** – запроектная авария с повреждением твэлов выше максимального проектного предела, при которой может быть достигнут предельно допустимый аварийный выброс радиоактивных веществ в окружающую среду.

63. **Управление аварией** – действия, направленные на предотвращение развития проектных аварий в запроектные и на ослабление последствий запроектных аварий.

64. **Управляющие системы (элементы) безопасности** – системы (элементы), предназначенные для инициирования действий систем безопасности, осуществления контроля и управления ими в процессе выполнения заданных функций.

65. **Управляющие системы (элементы) нормальной эксплуатации** – системы (элементы), формирующие и реализующие по заданным технологическим целям, критериям и ограничениям управление технологическим оборудованием систем нормальной эксплуатации блока АС.

...

68. **Условия безопасной эксплуатации** – установленные проектом минимальные условия по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и условиям технического обслуживания систем (элементов), важных для безопасности, при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасности и/или критериев безопасности.

69. **Физическая защита АС** – технические и организационные меры обеспечения сохранности содержащихся на АС ядерных материалов и радиоактивных веществ, предотвращения несанкционированного проникновения на территорию АС, предотвращения несанкционированного доступа к ядерным и радиоактивным веществам и своевременного обнаружения и пресечения диверсионных и террористических актов, угрожающих безопасности АС.

...

74. **Эксплуатационные пределы** – значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и АС в целом, заданных проектом для нормальной эксплуатации.

...

76. **Эксплуатационные условия** – установленные проектом условия по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и техническому обслуживанию систем (элементов), необходимые для работы без нарушения эксплуатационных пределов.

...

80. **Ядерная авария** – авария, связанная с повреждением твэлов, превышающим установленные пределы безопасной эксплуатации и/или облучением персонала, превышающим разрешенные пределы, вызванная: нарушением контроля и управления цепной ядерной реакцией деления в активной зоне реактора; возникновением критичности при перегрузке, транспортировании и хранении

твэлов; нарушением теплоотвода от твэлов; другими причинами, приводящими к повреждению твэлов.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Назначение документа

1.1.1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (далее по тексту – Общие положения) относятся к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии. Они регламентируют вопросы безопасности, специфические для АС как источника возможного радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду.

1.1.2. Настоящие Общие положения устанавливают цели, ориентиры и основные критерии безопасности, а также основные принципы и характер технических и организационных мер, направленных на достижение безопасности. Объем, полнота и глубина реализации этих принципов и мер должны соответствовать федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, а также другим нормативным документам и государственным стандартам (далее по тексту – нормативные документы), обоснованность применения которых для конкретных АС должна подтверждаться Федеральным надзором России по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзором России) при лицензировании. При отсутствии необходимых нормативных документов предлагаемые конкретные технические решения обосновываются и устанавливаются в проекте в соответствии с достигнутым уровнем науки и техники. Приемлемость таких решений определяется Госатомнадзором России при лицензировании.

1.1.3. Настоящие Общие положения обязательны для всех юридических и физических лиц, осуществляющих деятельность, связанную с размещением, проектированием, сооружением, вводом в эксплуатацию, эксплуатацией и выводом из эксплуатации блоков АС, и действуют на всей территории Российской Федерации.

...

1.1.5. Дополнения и изменения в настоящие Общие положения вносятся в порядке, установленном Правительством Российской Федерации для разработки и утверждения федеральных норм и правил в области использования атомной энергии.

1.2. Основные критерии и принципы обеспечения безопасности

1.2.1. АС удовлетворяет требованиям безопасности, если ее радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, не приводит к превышению установленных доз облучения персонала и населения, нормативов по выбросам и сбросам, содержанию радиоактивных веществ в окружающей среде, а также ограничивается при запроектных авариях. Это достигается, в том числе соблюдением требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии и других нормативных документов.

...

1.2.3. Безопасность АС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации концепции глубокоэшелонированной защиты, основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности, а также по защите персонала, населения и окружающей среды.

Система физических барьеров блока АС включает топливную матрицу, оболочку твэла, границу контура теплоносителя реактора, герметичное ограждение реакторной установки и биологическую защиту.

Система технических и организационных мер должна образовывать пять уровней глубокоэшелонированной защиты и включать следующие уровни.

Уровень 1 (Условия размещения АС и предотвращение нарушений нормальной эксплуатации):

- оценка и выбор площадки, пригодной для размещения АС;
- установление санитарно-защитной зоны, а также зоны наблюдения вокруг АС, на которой осуществляется планирование защитных мероприятий;
- разработка проекта на основе консервативного подхода с развитым свойством внутренней самозащищенности РУ;
- обеспечение требуемого качества систем (элементов) АС и выполняемых работ;

- эксплуатация АС в соответствии с требованиями нормативных документов, технологических регламентов и инструкций по эксплуатации;

- поддержание в исправном состоянии систем (элементов), важных для безопасности, путем своевременного определения дефектов, принятия профилактических мер, замены выработавшего ресурс оборудования и организация эффективно действующей системы документирования результатов работ и контроля;

- подбор и обеспечение необходимого уровня квалификации персонала АС для действий при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая предаварийные ситуации и аварии, формирование культуры безопасности.

Уровень 2 (Предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации):

- выявление отклонений от нормальной работы и их устранение;
- управление при эксплуатации с отклонениями.

Уровень 3 (Предотвращение запроектных аварий системами безопасности):

- предотвращение перерастания исходных событий в проектные аварии, а проектных аварий – в запроектные с применением систем безопасности;

- ослабление последствий аварий, которые не удалось предотвратить, путем локализации выделяющихся радиоактивных веществ.

Уровень 4 (Управление запроектными авариями):

- предотвращение развития запроектных аварий и ослабление их последствий;

- защита герметичного ограждения от разрушения при запроектных авариях и поддержание его работоспособности;

- возвращение АС в контролируемое состояние, при котором прекращается цепная реакция деления, обеспечивается постоянное охлаждение топлива и удержание радиоактивных веществ в установленных границах.

Уровень 5 (Противоаварийное планирование):

- подготовка и осуществление при необходимости планов противоаварийных мероприятий на площадке АС и за ее пределами. Концепция глубоководной защиты осуществляется на всей деятельности, связанной с обеспечением безопасности АС, в той части, которая затрагивается этим видом деятельности.

1.2.4. При нормальной эксплуатации все физические барьеры должны быть работоспособными, а меры по их защите должны находиться в состоянии готовности. При выявлении неработоспособности любого из предусмотренных физических барьеров или неготовности мер по его защите РУ должна быть остановлена и приняты меры по приведению блока АС в безопасное состояние.

1.2.5. Технические и организационные решения, принимаемые для обеспечения безопасности АС, должны быть апробированы прежним опытом или испытаниями, исследованиями, опытом эксплуатации прототипов и соответствовать требованиям нормативных документов. Такой подход должен применяться не только при разработке оборудования и проектировании АС, но и при изготовлении оборудования, сооружении и эксплуатации АС, при реконструкции АС и модернизации ее систем (элементов).

...

1.2.8. У всех лиц и организаций, связанных с размещением, сооружением, эксплуатацией и выводом из эксплуатации АС, проектированием, конструированием и изготовлением их систем (элементов) должна формироваться культура безопасности путем проведения необходимого подбора, обучения и подготовки персонала в каждой сфере деятельности, влияющей на безопасность, установления и строгого соблюдения дисциплины при четком распределении персональной ответственности руководителей и исполнителей, разработки и строгого соблюдения требований действующих инструкций по выполнению работ и их периодическому обновлению с учетом накапливаемого опыта. Все указанные лица должны знать характер и степень влияния их деятельности на безопасность. Они полностью должны отдавать себе отчет о тех последствиях, к которым может привести несоблюдение или нечеткое выполнение действующих инструкций и нормативных документов.

...

1.2.12. В проекте АС должны быть предусмотрены технические средства и организационные меры, направленные на предотвращение проектных аварий и ограничение их последствий и обеспечивающие безопасность при любом из учитываемых проектом исходном событии с наложением в соответствии с принципом единичного отказа одного независимого от исходного события отказа любого из следующих элементов систем безопасности: активного элемента или пассивного элемента, имеющего механические движущие

щиеся части, или одной независимой от исходного события ошибки персонала. Дополнительно к одному независимому от исходного события отказу одного из указанных выше элементов должны быть учтены приводящие к нарушению пределов безопасной эксплуатации не обнаруживаемые при эксплуатации АС отказы элементов, влияющих на развитие аварии.

1.2.13. В проекте АС должны быть предусмотрены технические средства и организационные меры, направленные на предотвращение нарушения пределов и условий безопасной эксплуатации.

...

1.2.16. Примерные перечни исходных событий проектных аварий и перечень запроектных аварий, включая исходные события, пути развития и последствия для каждого типа реакторов должны быть установлены в нормативных документах. Они должны включать представительные для определения плана возможных ответных действий сценарии с тяжелыми последствиями.

...

1.2.22. Проектом АС должны быть предусмотрены технические и организационные меры по обеспечению физической защиты, обеспечению пожарной безопасности АС.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ

2.1. Системы и элементы АС различаются:

- по назначению;
- по влиянию на безопасность;
- по характеру выполняемых ими функций безопасности.

2.2. Системы и элементы АС по назначению разделяются на:

- системы и элементы нормальной эксплуатации;
- системы и элементы безопасности.

2.3. Системы и элементы АС по влиянию на безопасность разделяются на:

- важные для безопасности;
- остальные, не влияющие на безопасность.

2.4. Системы и элементы по характеру выполняемых функций разделяются на:

- защитные;
- локализирующие;
- обеспечивающие;

- управляющие.

2.5. По влиянию элементов АС на безопасность устанавливаются четыре класса безопасности.

Класс безопасности 1. К классу безопасности 1 относятся твэлы и элементы АС, отказы которых являются исходными событиями запроектных аварий, приводящими при проектном функционировании систем безопасности к повреждению твэлов с превышением установленных для проектных аварий пределов.

Класс безопасности 2. К классу безопасности 2 относятся следующие элементы АС: элементы, отказы которых являются исходными событиями, приводящими к повреждению твэлов в пределах, установленных для проектных аварий, при проектном функционировании систем безопасности с учетом нормируемого для проектных аварий количества отказов в них; элементы систем безопасности, единичные отказы которых приводят к невыполнению соответствующими системами своих функций.

Класс безопасности 3. К классу безопасности 3 относятся элементы АС: системы, важные для безопасности, не вошедшие в классы безопасности 1 и 2; содержащие радиоактивные вещества, выход которых в окружающую среду (включая производственные помещения АС) при отказах превышает значения, установленные в соответствии с нормами радиационной безопасности; выполняющие контрольные функции радиационной защиты персонала и населения.

Класс безопасности 4. К классу безопасности 4 относятся элементы нормальной эксплуатации АС, не влияющие на безопасность и не вошедшие в классы безопасности 1, 2, 3. Элементы, используемые для управления аварией, не вошедшие в классы 1, 2 или 3, также относятся к классу безопасности 4.

2.6. Если какой-то элемент одновременно содержит признаки разных классов безопасности, то он должен быть отнесен к более высокому классу.

...

2.10. Требования к качеству элементов АС, отнесенных к классам безопасности 1, 2, 3, и его обеспечению устанавливаются в действующих нормативных документах, нормирующих их устройство и эксплуатацию. При этом более высокому классу безопасности должны соответствовать более высокие требования к качеству и его обеспечению, приведенные в указанных документах. К эле-

ментам, отнесенным к классу безопасности 4, предъявляются требования общепромышленных нормативных документов.

...

4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БЕЗОПАСНОСТИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ И ИХ СИСТЕМ

4.1. Общие требования

4.1.1. Системы (элементы), важные для безопасности, должны проектироваться в соответствии с принципами настоящих Общих положений и по другим федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, а также по нормативным документам, применение которых подтверждается Госатомнадзором России при лицензировании.

4.1.2. В соответствии с концепцией глубоко эшелонированной защиты АС должна иметь системы безопасности, предназначенные для выполнения следующих основных функций безопасности: аварийного останова реактора и поддержания его в подкритическом состоянии; аварийного отвода тепла от реактора; удержания радиоактивных веществ в установленных границах.

Необходимый объем и способы функций безопасности конкретизируются в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии, а применительно к каждой АС устанавливаются и обосновываются в проекте и отражаются в ООБ АС.

...

4.1.5. Системы (элементы), важные для безопасности, должны быть способны выполнить свои функции в установленном проекте объеме с учетом воздействия природных явлений (землетрясений, ураганов, наводнений, возможных в районе площадки АС), внешних техногенных событий, свойственных выбранной для сооружения АС площадке, и/или при возможных механических, тепловых, химических и прочих воздействиях проектных аварий.

4.1.6. При проектировании АС должны быть рассмотрены и обоснованы меры по предупреждению или защите систем (элементов) от отказов по общей причине.

4.1.7. При проектировании систем (элементов) АС и РУ должно отдаваться предпочтение системам (элементам), устройство кото-

рых основано на пассивном принципе действия и свойствах внутренней самозащищенности (саморегулирование, тепловая инертность и другие естественные процессы).

4.1.8. В проекте АС должны предусматриваться средства, с помощью которых исключаются единичные ошибки персонала или ослабляются их последствия, в том числе при техническом обслуживании.

4.1.9. Многоцелевое использование систем безопасности и их элементов на АС должно быть обосновано. Совмещение функций безопасности с функциями нормальной эксплуатации не должно приводить к нарушению требований обеспечения безопасности АС и снижению требуемой надежности систем (элементов), выполняющих функции безопасности.

4.1.10. Системы (элементы), важные для безопасности, должны проходить, как правило, прямую и полную проверку на соответствие проектным показателям при вводе в эксплуатацию, после ремонта и периодически в течение всего срока службы АС.

...

Должна быть предусмотрена возможность диагностики (проверки) состояния систем безопасности и важных для безопасности элементов нормальной эксплуатации, отнесенных к классам безопасности 1 и 2, и возможность их представительных испытаний.

4.1.11. Системы безопасности должны функционировать таким образом, чтобы начавшееся их действие доводилось до полного выполнения их функции. Возвращение системы безопасности в исходное состояние должно требовать последовательных действий оператора.

4.2. Конструкция и характеристики активной зоны

4.2.1. В проекте АС должны быть установлены в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии пределы повреждения (количество и степень повреждения) твэлов и связанные с этим уровни радиоактивности теплоносителя реактора по реперным изотопам. Активная зона и другие системы, определяющие условия ее работы, должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключалось превышение установленных пределов безопасной эксплуатации повреждения

твэлов на протяжении установленного для них срока использования в реакторе.

4.2.2. Активная зона должна быть спроектирована таким образом, чтобы при нормальной эксплуатации и проектных авариях обеспечивались ее механическая устойчивость и отсутствие деформаций, нарушающих нормальное функционирование средств воздействия на реактивность и аварийный останов реактора или препятствующих охлаждению твэлов. Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе вероятностного анализа безопасности значение суммарной вероятности тяжелых запроектных аварий не превышало 10^{-5} на реактор в год.

4.2.3. Активная зона вместе со всеми ее элементами, влияющими на реактивность, должна быть спроектирована таким образом, чтобы любые изменения реактивности с помощью органов регулирования и эффектов реактивности в эксплуатационных состояниях и при проектных и запроектных авариях не вызывали неуправляемого роста энерговыделения в активной зоне, приводящего к повреждению твэлов сверх установленных проектных пределов.

4.2.4. Характеристики ядерного топлива, конструкции реактора и другого оборудования первого контура (включая систему очистки теплоносителя) с учетом работы других систем не должны допускать при тяжелых запроектных авариях, в том числе с расплавлением топлива, образования вторичных критических масс.

...

4.3. Контур теплоносителя реактора

Все оборудование и трубопроводы контура теплоносителя реактора должны выдерживать без разрушений статические и динамические нагрузки и температурные воздействия, возникающие в любых его узлах и компонентах (с учетом действий защитных систем безопасности и их возможных отказов в соответствии с п. 1.2.12), в том числе, непреднамеренных выделениях энергии в теплоноситель, вызванных: внезапным введением положительной реактивности при выбросе с максимальной скоростью органа воздействия на реактивность максимальной эффективности, если такой выброс не предотвращен конструкцией; вводом “холодного” теплоносителя в активную зону (при отрицательном температурном коэффициенте реактивности по теплоносителю) или другим возможным положительным эффектом реактивности, связанным с теплоносителем.

4.4. Управление технологическими процессами

4.4.1. Общие требования.

4.4.1.1. На каждом блоке АС для управления технологическим оборудованием систем нормальной эксплуатации и систем безопасности должны предусматриваться:

- 1) БПУ;
- 2) РПУ;
- 3) УСНЭ;
- 4) УСБ;
- 5) автономные средства регистрации и хранения информации.

4.4.1.2. Проекты АС и ООБ АС должны содержать:

- 1) анализ реакций систем управления на возможные отказы в системах управления;
- 2) анализ надежности функционирования систем управления;
- 3) анализ устойчивости контуров управления.

4.4.2. Блочный пункт управления.

4.4.2.1. На блоке АС должен предусматриваться БПУ, оперативный персонал управления которого осуществляет управление технологическим оборудованием систем нормальной эксплуатации и систем безопасности при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии.

...

4.4.2.4. На БПУ проектом должны быть предусмотрены:

- 1) средства контроля и управления процессами деления ядерного топлива во всех режимах и при всех условиях в активной зоне при нормальной эксплуатации (в том числе и в подкритическом режиме в процессе перегрузки ядерного топлива);
- 2) указатели положения органов воздействия на реактивность, автоматический контроль концентрации растворимого поглотителя и указатели состояния других средств воздействия на реактивность;
- 3) системы информационной поддержки оператора, в том числе система оперативного представления персоналу обобщенной информации, характеризующей текущее состояние безопасности РУ и АС в целом.

...

4.4.3. Резервный пункт управления.

4.4.3.1. На блоке АС должен предусматриваться РПУ.

4.4.3.2. С РПУ должны осуществляться следующие функции:

- управление системами безопасности;
- перевод реактора в подкритическое состояние;
- удержание реактора в подкритическом состоянии;
- отвод тепла от реактора;
- контроль состояния РУ.

...

4.4.4. Управляющие системы нормальной эксплуатации.

4.4.4.1. УСНЭ блока АС должны осуществить управление технологическими процессами во всех режимах работы блока АС с установленными в проекте показателями качества, надежности и метрологическими характеристиками.

...

4.4.4.4. УСНЭ блока АС должны быть построены таким образом, чтобы обеспечивать наиболее благоприятные условия для принятия оперативным персоналом правильных решений по управлению АС и сокращать до минимума возможность принятия неправильных решений.

...

4.4.5. Управляющие системы безопасности.

4.4.5.1. На блоке АС должны быть предусмотрены УСБ.

4.4.5.2. УСБ должны автоматически выполнять свои функции при возникновении условий, предусмотренных проектом.

4.4.5.3. УСБ должны быть спроектированы таким образом, чтобы при автоматическом запуске возможность их отключения оперативным персоналом блокировалась в течение 10 – 30 мин.

...

4.4.5.6. УСБ должны быть в такой мере отделены от УСНЭ, чтобы нарушение или вывод из работы любого элемента или канала УСНЭ не влияли на способность УСБ выполнять свои функции.

4.4.5.7. УСБ должны удовлетворять следующим принципам безопасности:

- 1) резервирование (избыточность);
- 2) независимость;
- 3) разнообразие.

Резервирование, независимость и разнообразие должны быть таковы, чтобы любые единичные отказы в УСБ не нарушали их ра-

ботоспособность, а также обеспечивалась их защита от отказов по общей причине в соответствии с п.4.1.6.

4.4.5.8. В УСБ должна предусматриваться:

1) непрерывная автоматическая диагностика работоспособности систем управления;

2) периодическая диагностика исправности каналов УСБ и диагностика технологического оборудования в соответствии с п.4.1.10 с пультов БПУ и РПУ.

...

4.5. Защитные системы безопасности

4.5.1. В проекте АС должны быть предусмотрены защитные системы безопасности, обеспечивающие надежный аварийный останов реактора и поддержание его в подкритическом состоянии в любых режимах нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, включая проектные аварии.

4.5.2. Эффективность и быстродействие систем аварийного останова реактора должны быть достаточны для ограничения энерговыделения уровнем, не приводящим к повреждению ТВЭЛов сверх установленных пределов для нормальной эксплуатации или проектных аварий, и подавления положительной реактивности, возникающей в результате проявления любого эффекта реактивности или возможного сочетания эффектов реактивности при нормальной эксплуатации и проектных авариях.

4.5.3. Аварийный останов реактора должен обеспечиваться независимо от того, имеется или потерял источник энергии.

4.5.4. В составе защитных систем должны быть предусмотрены системы для аварийного отвода тепла от реактора, состоящие из нескольких независимых каналов и обеспечивающие эффективность с учетом требований п. 1.2.12. Допускается использование систем (каналов) охлаждения, предназначенных для нормальной эксплуатации, в качестве систем (каналов) аварийного отвода тепла от реактора. В этом случае они должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к системам безопасности.

4.5.5. Должны быть предусмотрены меры, предотвращающие выход реактора в критическое состояние и превышение допусти-

мого давления в системах контура теплоносителя реактора при включении и работе системы аварийного отвода тепла от реактора.

4.5.6. Срабатывание защитных систем безопасности не должно приводить к отказам оборудования систем нормальной эксплуатации. При проектировании должно быть обосновано допустимое за срок эксплуатации блока АС число срабатываний защитных систем безопасности (в том числе и ложных срабатываний), исходя из их влияния на ресурс работы оборудования.

4.6. Локализирующие системы безопасности

4.6.1. Должны быть предусмотрены локализирующие системы безопасности для удержания при аварии радиоактивных веществ и ионизирующего излучения в предусмотренных проектом границах.

4.6.2. Реактор и содержащие радиоактивные вещества системы, и элементы АС должны размещаться в герметичных помещениях целиком для локализации выделяющихся при проектных авариях веществ в их границах. При этом, а также в случае иного размещения, необходимо чтобы при нормальной эксплуатации и проектных авариях не превышались соответствующие установленные дозы облучения персонала и населения, а также нормативы по выбросам и содержанию радиоактивных веществ в окружающей среде. Необходимость и допустимость направленного выброса радиоактивных веществ при запроектных авариях должны быть обоснованы проектом.

4.6.3. Локализирующие системы безопасности должны быть предусмотрены для каждого блока АС и выполнять заданные функции для проектных и учитываемых в соответствии с п.1.2.16 запроектных аварий. Совместное использование отдельных элементов и локализирующих систем безопасности в целом для нескольких блоков допускается, если доказана невозможность распространения аварии с одного блока АС на другие.

4.6.4. В тех случаях, когда для предотвращения повышения давления в герметичных помещениях предусматриваются системы теплоотвода с активными элементами, должно быть несколько независимых каналов теплоотвода, обеспечивающих требуемую эффективность с учетом требований п.1.2.12.

4.6.5. Все пересекающие границы герметичного ограждения коммуникации, через которые при аварии возможен выход радио-

активных веществ за границы герметичных помещений, должны быть оборудованы изолирующими элементами.

4.6.6. В проекте АС должна быть обоснована степень допустимой негерметичности герметичного ограждения, должны быть указаны способы ее достижения. Соответствие фактической герметичности проектной должно подтверждаться до полной загрузки реактора ядерным топливом и проверяться в процессе эксплуатации с установленной в проекте периодичностью.

Испытания герметичного ограждения при вводе в эксплуатацию должны проводиться при расчетном давлении, последующие испытания проводятся при обоснованном в проекте давлении. Оборудование, расположенное внутри герметичных помещений, должно выдерживать испытания без потери работоспособности. В проекте АС должны быть предусмотрены методика и технические средства испытания герметичного ограждения на соответствие проектным параметрам.

4.6.7. Должны быть предусмотрены меры по обнаружению и предотвращению образования взрывоопасных концентраций газов в помещениях локализирующих систем безопасности.

4.7. Обеспечивающие системы безопасности

4.7.1. В проекте АС должны быть предусмотрены необходимые обеспечивающие системы безопасности, выполняющие функции снабжения систем безопасности рабочей средой, энергией и создания требуемых условий их функционирования, включая передачу тепла к конечному поглотителю.

4.7.2. Обеспечивающие системы безопасности должны иметь показатели надежности выполнения заданных функций, достаточные для того, чтобы в совокупности с показателями систем безопасности, которые они обеспечивают, достигалась необходимая надежность функционирования последних, определяемая в проекте.

4.7.3. Выполнение обеспечивающими системами безопасности функций, приведенных в п.4.7.1, должно иметь безусловный приоритет над действием внутренних защит элементов обеспечивающих систем безопасности, если это не приводит к более тяжелым последствиям для безопасности; перечень не отключаемых внутренних защит элементов обеспечивающих систем безопасности должен быть обоснован в проекте АС.

4.7.4. Проектом АС должны быть предусмотрены необходимые и достаточные средства для противопожарной защиты АС, включая средства обнаружения и тушения горения замедлителя и теплоносителя. Проектом АС должен быть предусмотрен автоматизированный режим работы систем тушения пожаров с момента подачи напряжения на оборудование блока АС при проведении предпусковых наладочных работ.

4.8. Система хранения ядерного топлива и радиоактивных отходов

4.8.1. На каждой АС должны быть предусмотрены хранилища свежего и отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов. Вместимость хранилищ ядерного топлива должна быть обоснована с учетом обеспечения возможности полной выгрузки активной зоны в любое время.

...

4.8.2. Возможность достижения критичности в хранилищах свежего и отработавшего ядерного топлива при его размещении и движении должна исключаться за счет обеспечения соответствующих характеристик хранилищ.

ПРАВИЛА ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ПБЯ РУ АС–89

Введены в действие с 1 сентября 1990 года

Основные определения

1. **Аварийная защита** – функция безопасности, состоящая в быстром переводе активной зоны реактора в подкритическое состояние и поддержании её в подкритическом состоянии; комплекс систем безопасности, выполняющий функции аварийной защиты.

2. **Аварийная ситуация** – состояние АС, характеризующееся нарушением пределов и/или условий безопасной эксплуатации, не перешедшее в аварию.

...

5. **Внутренняя самозащищённость РУ** – свойство обеспечивать безопасность на основе естественных обратных связей и процессов.

6. **Группа рабочих органов системы управления и защиты (СУЗ)** – один или несколько рабочих органов СУЗ, объединённых по управлению с целью одновременного совместного перемещения.

...

12. **Канал контроля** – совокупность датчиков, линий передачи, средств обработки сигналов и/или демонстрации параметров, предназначенная для обеспечения контроля в заданном проектном объёме.

...

19. **Нарушение нормальной эксплуатации РУ** – состояние РУ, характеризующееся нарушением эксплуатационных пределов и условий.

...

26. **Пределы безопасной эксплуатации РУ** – установленные техническим проектом РУ границы значений параметров технологического процесса, нарушение которых может привести к аварии.

...

30. **Принцип независимости** – принцип повышения надёжности системы путём применения функционального и/или физического разделения каналов (элементов), для которых отказ одного канала (элемента) не приводит к отказу другого канала (элемента).

31. **Принцип разнообразия** – принцип повышения надёжности систем путём применения в разных системах (либо в пределах одной системы в разных каналах) различных средств и/или аналогичных средств, основанных на разных принципах действия, для осуществления заданной функции.

32. **Принцип резервирования** – принцип повышения надёжности систем путём применения структурной, функциональной, информационной и временной избыточности по отношению к минимально необходимому и достаточному для выполнения системой заданных функций объёму.

...

35. **Рабочий орган СУЗ** – средство воздействия на реактивность, используемое в СУЗ.

36. **Рабочий орган аварийной защиты** – средство воздействия на реактивность, используемое в аварийной защите.

...

39. **Сигнал аварийной защиты** – сигнал, формируемый в комплексе аппаратуры аварийной защиты с целью вызвать срабатывание рабочих органов АЗ и поступающий в средства регистрации, а также на блочный щит управления (БЩУ) и резервный щит управления (РЩУ) для оповещения персонала.

40. **Сигнал предупредительной защиты** – сигнал, формируемый и регистрируемый системами контроля и управления, для инициирования функций предупредительной защиты и оповещения персонала о возможности нарушения нормальной эксплуатации.

...

43. **Система информационной поддержки оператора** – система, предназначенная для контроля, анализа и прогноза состояния, выработки рекомендаций по управлению РУ и проверки действий оператора.

...

45. **Системы управления и защиты** – совокупность средств технического, программного, информационного обеспечения, предназначенная для обеспечения безопасного протекания цепной реакции.

Системы управления и защиты – системы, важные для безопасности, совмещающие функции нормальной эксплуатации и безопасности и состоящие из элементов систем контроля и управления, защитных, управляющих и обеспечивающих систем безопасности.

...

52. **Удельная пороговая энергия разрушения твэла** – энергия, выделяющаяся за короткий промежуток времени в единице массы ядерного топлива при быстром вводе реактивности, достаточная для разрушения твэла.

...

64. **Ядерно-опасные работы** – работы на реакторной установке, которые могут привести к ядерной аварии.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.2. Правила устанавливают общие требования к конструкции, характеристикам и условиям эксплуатации систем и элементов РУ, а также организационные требования, направленные на обеспечение ядерной безопасности при проектировании, сооружении и эксплуатации РУ.

1.3 Правила являются обязательными для всех министерств, ведомств, предприятий и организаций при проектировании, сооружении и эксплуатации РУ АС, а также при конструировании и изготовлении элементов РУ.

1.4. ...Правила конкретизируют требования ОПБ–88 в части обеспечения ядерной безопасности.

1.5. ...Ядерная безопасность РУ обеспечивается системой технических и организационных мер, в том числе за счёт:

использования и развития свойств внутренней самозащищённости;

применения концепции глубокоэшелонированной защиты;

использования систем безопасности, построенных на основе принципов резервирования, пространственной и функциональной независимости, единичного отказа и т. д.;

использования надёжных, проверенных практикой технических решений и обоснованных методик;

выполнения норм, стандартов, правил и других нормативно-технических документов по безопасности АС, а также строгого соблюдения требований, заложенных в проекте АС;

устойчивости технологических процессов;

формирования и внедрения культуры безопасности;

системы обеспечения качества на всех этапах создания и эксплуатации РУ.

2. ТРЕБОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕАКТОРУ И СИСТЕМАМ РУ, ВАЖНЫМ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1. Общие требования

...

2.1.8. Основным документом по обоснованию ядерной безопасности РУ каждого энергоблока АС является раздел технического проекта РУ “Техническое обоснование безопасности РУ” (ТОБ РУ), который должен разрабатываться Генеральным конструктором РУ, согласовываться Генеральным проектировщиком АС и Научным руководителем.

...

2.1.11. В ТОБ РУ должно быть показано выполнение требований настоящих Правил.

2.1.12. ТОБ РУ должно содержать анализ возможных отказов систем (элементов), важных для безопасности, с выделением опасных для РУ отказов с оценкой их последствий на основе вероятностного анализа безопасности.

2.1.13. В ТОБ РУ должны быть приведены перечень исходных событий и анализ нарушений нормальной эксплуатации, анализ проектных и запроектных аварий, а также классификация проектных и запроектных аварий по вероятности возникновения и по тяжести последствий. В числе запроектных аварий необходимо рассмотреть аварии с тяжёлым повреждением или расплавлением активной зоны.

При проектировании РУ следует стремиться к тому, чтобы значение вероятности тяжёлого повреждения или расплавления активной зоны при запроектных авариях не превышало 10^{-5} на реактор в год.

2.2. Требования к активной зоне и элементам ее конструкции

...

2.2.2. Активная зона должна быть спроектирована таким образом, чтобы любые изменения реактивности при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях не приводили к нарушению соответствующих пределов повреждения твэлов.

...

2.2.6. Конструкция и исполнение активной зоны должны быть такими, чтобы при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях не превышались соответствующие пределы повреждения ТВЭЛов с учётом:

- проектного количества режимов и их проектного протекания;
- тепловой, механической и радиационной деформации активной зоны;

- физико-химического взаимодействия материалов активной зоны;

- предельных значений теплотехнических параметров;
- вибрации и термоциклирования, усталости и старения материалов;

- влияния примесей в теплоносителе и продуктов деления на коррозию оболочек ТВЭЛов;

- взаимодействия радиационных и других факторов, ухудшающих механические характеристики материалов активной зоны и целостность оболочек ТВЭЛов.

2.2.7. В техническом проекте РУ должна быть обоснована и технически обеспечена возможность выгрузки активной зоны и её компонентов после проектной аварии.

2.2.8. Активная зона и исполнительные механизмы СУЗ должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключалось заклинивание, выброс рабочих органов или их самопроизвольное расцепление с приводами СУЗ.

...

2.2.11. Характеристики активной зоны и средств воздействия на реактивность должны быть такими, чтобы введение в активную зону и/или отражатель средств воздействия на реактивность для любой комбинации их расположения при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях обеспечивало ввод отрицательной реактивности на любом участке их движения.

2.2.12. Конструкция тепловыделяющих сборок должна быть такой, чтобы формоизменения ТВЭЛов и других элементов ТВС, возможные при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях, не вызывали перекрытия проходного сечения ТВС, приводящего к повреждению ТВЭЛов сверх

соответствующих пределов, и не препятствовали нормальному функционированию рабочих органов СУЗ.

...

2.2.14. Твэлы различного обогащения, специальные выгорающие поглотители, твэлы с выгорающим поглотителем в топливе, твэлы со смешанным топливом и т. п. должны иметь отличительные знаки, которые различаются визуально и/или промышленными средствами контроля при сборке ТВС.

2.3. Требования к системам управления и защиты

2.3.1. Общие требования.

2.3.1.1. В состав РУ должны входить системы управления и защиты, предназначенные для:

управления реактивностью и мощностью РУ;

контроля плотности нейтронного потока, скорости его изменения, технологических параметров, необходимых для защиты и управления реактивностью и мощностью РУ;

перевода активной зоны реактора в подкритическое состояние и поддержания её в подкритическом состоянии.

...

2.3.1.4. Техническим проектом должны быть предусмотрены по меньшей мере две системы остановки реактора, каждая из которых должна быть способна независимо одна от другой обеспечивать перевод активной зоны в подкритическое состояние и поддержание её в подкритическом состоянии с учётом принципа единичного отказа или ошибки персонала.

Эти системы должны проектироваться с соблюдением принципов разнообразия, независимости и резервирования.

2.3.1.5. По крайней мере одна из систем остановки реактора (не выполняющая функцию АЗ) при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях должна обладать:

эффективностью, достаточной для перевода активной зоны реактора в подкритическое состояние и поддержания подкритического состояния с учётом возможного высвобождения реактивности;

быстродействием, достаточным для перевода активной зоны реактора в подкритическое состояние без нарушения проектных пре-

делов повреждения твэлов, установленных для проектных аварий (с учётом действия систем аварийного охлаждения активной зоны).

2.3.2. Требования к аварийной защите.

2.3.2.1. По крайней мере одна из предусмотренных систем остановки реактора должна выполнять функцию аварийной защиты.

2.3.2.2. В техническом проекте РУ должно быть показано, что рабочие органы АЗ без одного наиболее эффективного органа обладают:

быстродействием, достаточным для перевода активной зоны реактора в подкритическое состояние без нарушения пределов безопасной эксплуатации при нарушениях нормальной эксплуатации;

эффективностью, достаточной для перевода активной зоны реактора в подкритическое состояние и поддержания её в подкритическом состоянии при нарушениях нормальной эксплуатации и проектных авариях. В случае если эффективность АЗ недостаточна для длительного поддержания активной зоны в подкритическом состоянии, должно быть предусмотрено автоматическое подключение другой (других) системы (систем) остановки реактора, обладающей (обладающих) эффективностью, достаточной для поддержания активной зоны в подкритическом состоянии с учётом возможного высвобождения реактивности.

2.3.2.3. Аварийная защита должна иметь не менее двух независимых групп рабочих органов.

2.3.2.4. Аварийная защита должна быть спроектирована таким образом, чтобы начавшееся защитное действие было выполнено полностью с учётом требований п. 2.3.2.2 и обеспечивался контроль выполнения функции аварийной защиты.

...

2.3.2.14. Аварийная защита должна быть в такой мере отделена от систем контроля и управления, чтобы повреждение или вывод из работы любого элемента систем контроля и управления не влияли на способность аварийной защиты выполнить свои функции.

...

2.3.2.22. Перечень параметров, по которым необходимо осуществлять аварийную защиту, уставки и условия срабатывания АЗ, а также время прохождения сигналов до рабочих органов АЗ должны быть обоснованы в техническом проекте РУ. Уставки и условия

срабатывания АЗ должны выбираться таким образом, чтобы предотвращать нарушение пределов безопасной эксплуатации.

2.3.2.23. В техническом проекте РУ должен быть приведен и обоснован перечень исходных событий, при которых требуется срабатывание АЗ. Срабатывание АЗ должно происходить как минимум в следующих случаях:

- при достижении уставки АЗ по уровню плотности нейтронного потока;

- при достижении уставки АЗ по скорости нарастания плотности нейтронного потока (или реактивности);

- при исчезновении напряжения в любом комплекте аппаратуры аварийной защиты и шинах электропитания СУЗ;

- при неисправности или нерабочем состоянии любых двух из трёх каналов защиты по уровню или скорости нарастания плотности нейтронного потока в любом комплекте аппаратуры АЗ;

- при достижении уставок АЗ технологическими параметрами, по которым необходимо осуществлять защиту;

- при нажатии кнопок, предназначенных для инициирования срабатывания аварийной защиты.

...

2.3.2.26. Выполнение функции аварийной защиты реактора не должно зависеть от наличия и состояния источников энергопитания.

2.3.3. Требования к контролю и управлению нейтронным потоком и реактивностью.

2.3.3.1. Для контроля нейтронного потока реактор должен быть оснащён каналами контроля таким образом, чтобы во всём диапазоне изменения плотности нейтронного потока в активной зоне от 10^{-7} до 120 % номинального контроль осуществлялся как минимум:

- тремя независимыми между собой каналами измерения уровня плотности нейтронного потока с показывающими приборами;

- тремя независимыми между собой каналами измерения скорости изменения нейтронного потока.

...

2.3.3.12. Техническими мерами должна быть исключена возможность введения положительной реактивности одновременно двумя и более предусмотренными средствами воздействия на реак-

тивность, а также введение положительной реактивности при загрузке и выгрузке топлива.

2.3.3.13. Скорость увеличения реактивности средствами воздействия на реактивность не должна превышать $0,07\beta_{эф}/с$. Для рабочих органов СУЗ с эффективностью более $0,7\beta_{эф}$ введение положительной реактивности должно быть шаговым, с весом шага не более $0,3\beta_{эф}$ (обеспечивается техническими мерами). В техническом проекте РУ должна быть указана величина шага, пауза между шагами и скорость увеличения реактивности.

2.3.3.14. Перед пуском реактора рабочие органы аварийной защиты должны быть взведены в рабочее положение.

Подкритичность активной зоны реактора в любой момент кампании после взвода рабочих органов аварийной защиты в рабочее положение с введёнными в активную зону остальными органами СУЗ должна быть не менее $0,01$ в состоянии активной зоны с максимальным эффективным коэффициентом размножения.

...

2.3.3.17. Техническим проектом РУ должны предусматриваться средства и методики контроля подкритичности активной зоны.

2.3.3.18. Техническим проектом РУ должны быть предусмотрены средства контроля неравномерности энерговыделения по активной зоне, а также указаны требования к средствам оперативного расчёта запаса до кризиса теплообмена.

2.6. Требования к системам аварийного охлаждения активной зоны

2.6.1. Техническим проектом РУ должны быть предусмотрены системы аварийного охлаждения активной зоны. Состав, структура и характеристики систем аварийного охлаждения активной зоны должны быть обоснованы в техническом проекте РУ.

2.6.2. Системы аварийного охлаждения активной зоны должны проектироваться с учётом принципов независимости и резервирования и должны быть способны с учётом принципа единичного отказа или ошибки персонала выполнить свою функцию по предотвращению нарушения проектных пределов повреждения твэлов при проектных авариях.

2.6.3. Перечень параметров, уставки и условия срабатывания систем аварийного охлаждения должны определяться исходными

событиями проектных аварий и должны быть обоснованы в техническом проекте РУ.

...

2.6.7. При нахождении активной зоны реактора в подкритическом состоянии включение и работа систем аварийного охлаждения активной зоны не должны выводить её из подкритического состояния.

2.6.8. Системы аварийного охлаждения должны обеспечивать расхолаживание и длительное поддержание активной зоны реактора при значениях параметров теплоносителя, обоснованных в техническом проекте РУ.

2.7. Требования к порядку проведения и устройствам перегрузки

2.7.1. Требования к порядку проведения перегрузки.

2.7.1.1. В техническом проекте РУ должны быть обоснованы:

способы проведения перегрузки;

периодичность, объём и регламент перегрузки;

технические средства и организационные меры по обеспечению ядерной безопасности при проведении перегрузки, включая контроль плотности нейтронов;

рабочая концентрация жидкого поглотителя (в случае его использования), точки отбора проб, средства её контроля и способы поддержания.

2.7.2. Требования к устройствам перегрузки.

2.7.2.1. В техническом проекте РУ должен быть обоснован и приведен состав устройств перегрузки, а также требования к ним, выполнение которых обеспечивало бы безопасность обращения с тепловыделяющими сборками при перегрузке, в том числе при отказах и повреждениях устройств для перегрузки топлива.

2.7.2.2. Техническим проектом РУ должны быть предусмотрены технические средства, обеспечивающие теплосъём с перегружаемых ТВС.

2.7.2.3. Устройства перегрузки должны быть спроектированы таким образом, чтобы при их нормальной эксплуатации и повреждениях не нарушались условия нормальной эксплуатации РУ и хранилищ ядерного топлива.

Николай Иванович Гераскин
Владимир Ильич Наумов

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Учебно-методическое пособие к выполнению курсового проекта
и выпускной квалификационной работы на степень бакалавра

Редактор Н.Н. Антонова
Компьютерная верстка Г.А. Бобровой

Подписано в печать 20.11.2008 Формат 60x84 1/16
Печ.л. 3,25 Уч.-изд.л. 3,25 Тираж 150 экз. Изд. № 4/45
Заказ № 2-2411

*Московский инженерно-физический институт
(государственный университет).
115409 Москва, Каширское шоссе, 31*

*Типография издательства «Тровант»
г. Троицк Московской области*