



Новые технические решения, направленные на повышение безопасности, в проекте РУ БН-800

Б.А. Васильев, В.Е. Воронцов, А.И. Староверов, В.И. Шкарин, А.Г. Смирнов

Семинар CORDEL

г. Москва,

25 - 26 октября 2016г.

Работы по созданию проекта РУ БН-800

1970 г. – начало работ по проекту РУ БН-800. За основу взят проект реакторной установки БН-600

1984 г. - завершена разработка базового проекта БН-800

1985 г. - согласован ГАН СССР технический проект энергоблока

1993 г. - доработка проекта в соответствии с новыми нормативными требованиями (ОПБ-88 и ПБЯ РУ АС-89)

1997 г. - получена лицензия на возобновление сооружения БН-800 на площадке Белоярской АЭС

2006 г. - по Решению Правительства РФ возобновлено сооружение БН-800 на площадке Белоярской АЭС

2011 г. - принято решение о корректировке проекта в связи с изменившимися требованиями нормативной документации за период 1997 - 2010 г.г.

2013 г. - завершена корректировка проектов реакторной установки и энергоблока, Белоярская АЭС получила лицензию на эксплуатацию энергоблока с реакторной установкой БН-800

Новые технические решения, направленные на повышение безопасности

Современный проект БН-800 существенно отличается от базового проекта 1984 года в связи с его переработкой с целью соответствия требованиям новой нормативной документации по безопасности (ОПБ-88, ОПБ-88/97, ПБЯ РУ АС – 89, НП-082-07).

Введение в новой нормативной документации требований обеспечения безопасности путем последовательной реализации концепции глубокоэшелонированной защиты, использования принципа внутренней самозащищенности, применения в проекте систем и элементов устройство которых основано на пассивном принципе действия определили введение в проект РУ новых технических решений, направленных на дальнейшее повышение уровня безопасности.

Новые технические решения, направленные на повышение безопасности

К таким решениям относятся:

- независимая пассивная система защиты реактора;
- система аварийного расхолаживания;
- устройство для сбора и удержания фрагментов активной зоны в случае ее расплавления в гипотетических авариях, предотвращающее попадание топлива на днище корпуса реактора и его выход за пределы первого контура;
- натриевая полость в верхней части ТВС активной зоны, выполненная для обеспечения НПЭР, близкого к нулевому значению.

Пассивная защита, основанная на гидравлическом принципе действия

Пассивная защита с использованием поглощающих стержней, гидродинамически подвешенных в потоке теплоносителя, создавалась как средство управления запроектными авариями с полным обесточиванием АЭС и несрабатыванием основных систем останова реактора.

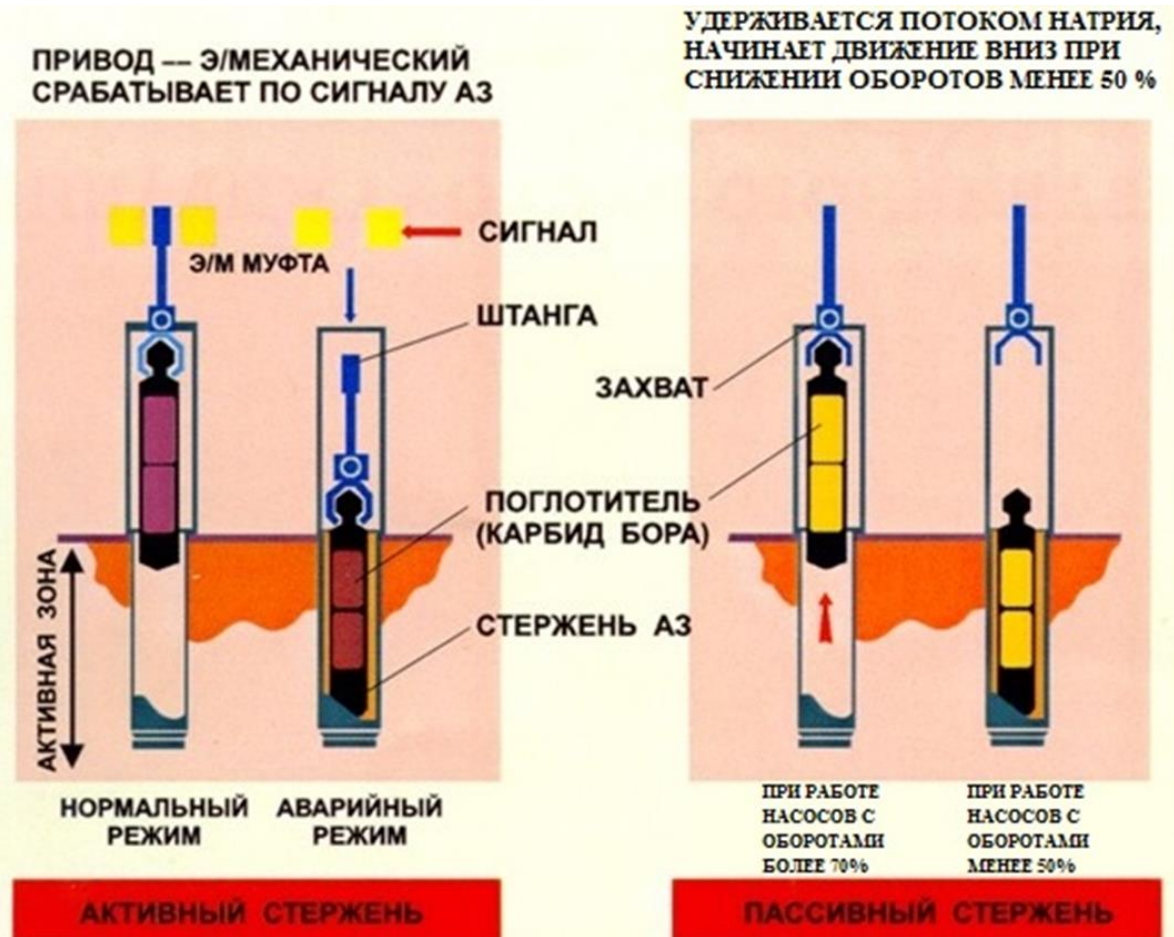
Система пассивной аварийной защиты обеспечивает перевод реактора в подкритическое состояние при снижении расхода теплоносителя через реактор и его удержание в подкритическом состоянии при уровне температур ≥ 300 °С.

Принцип действия — падение стержней ПАЗ в активную зону под собственным весом при снижении расхода теплоносителя в активной зоне до $0,5G_{ном}$ независимо от состояния электронных управляющих систем и ИМ СУЗ.

Пассивная защита, основанная на гидравлическом принципе действия

В обоснование проекта пассивной системы защиты реактора (стержни ПАЗ) проведены исследования на масштабном стенде ОКБМ.

Пассивная защита более года без замечаний эксплуатируется в составе реакторной установки БН-800.



Система аварийного расхолаживания

Система аварийного расхолаживания реактора создавалась для отвода остаточных тепловыделений реактора к конечному поглотителю (атмосферному воздуху) при отсутствии возможности выполнения этой функции системами нормальной эксплуатации (через третий контур) в аварийных режимах, связанных с:

- потерей системного электроснабжения;
- прекращением подачи питательной воды на все парогенераторы;
- сейсмическим воздействием.

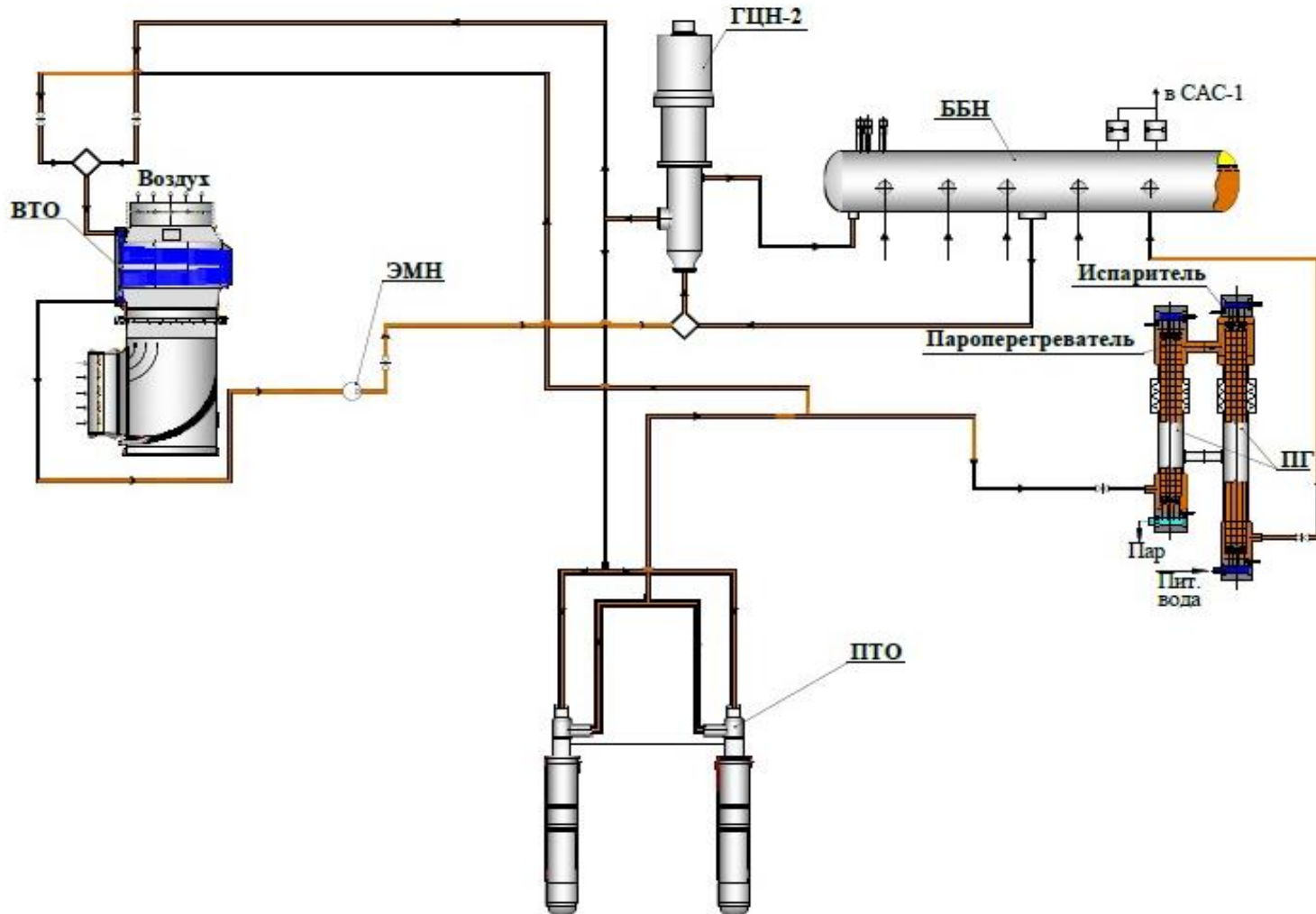
При создании системы реализованы следующие принципы, регламентируемые требованиями современных нормативных документов по безопасности: многоканальность, резервирование, независимость, постоянная готовность, пассивность, благоприятное с точки зрения возможности развития естественной циркуляции расположение оборудования.

Система аварийного расхолаживания

САРХ состоит из независимых каналов с внутренним резервированием теплотехнического оборудования в канале. Оборудование разных каналов САРХ размещено в помещениях, изолированных друг от друга и от помещений с оборудованием петель второго контура, и связано со своим каналом обеспечивающих систем (электроснабжение, вентиляция). Каждый из каналов САРХ способен выполнить функции системы по аварийному расхолаживанию реактора.

В процессе нормальной эксплуатации реакторной установки оборудование САРХ находится постоянно в "горячем резерве", а система в состоянии готовности к расхолаживанию за счет обеспечения циркуляции через нее необходимого количества теплоносителя второго контура. Решения по расположению оборудования и компоновке трубопроводов обеспечивают развитие естественной циркуляции в натриевом и воздушном контурах системы.

Система аварийного расхолаживания



Система аварийного расхолаживания

Аварийный отвод тепла от реактора БН-800 осуществляется через промежуточные теплообменники к воздушным теплообменникам (ВТО) и, далее, к атмосферному воздуху при принудительной циркуляции натрия по первому и второму контурам и естественной циркуляции воздуха через ВТО.

При запроектных авариях с потерей системного электроснабжения и множественными отказами в каналах САРХ, отвод тепла от реактора без нарушения пределов безопасной эксплуатации обеспечивается одним ВТО системы аварийного расхолаживания.

Устройство для сбора топлива - поддон

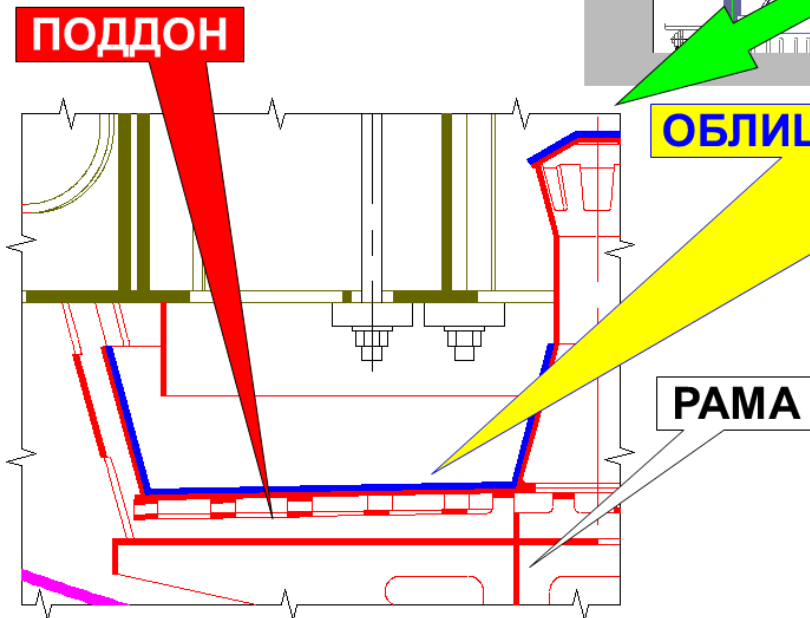
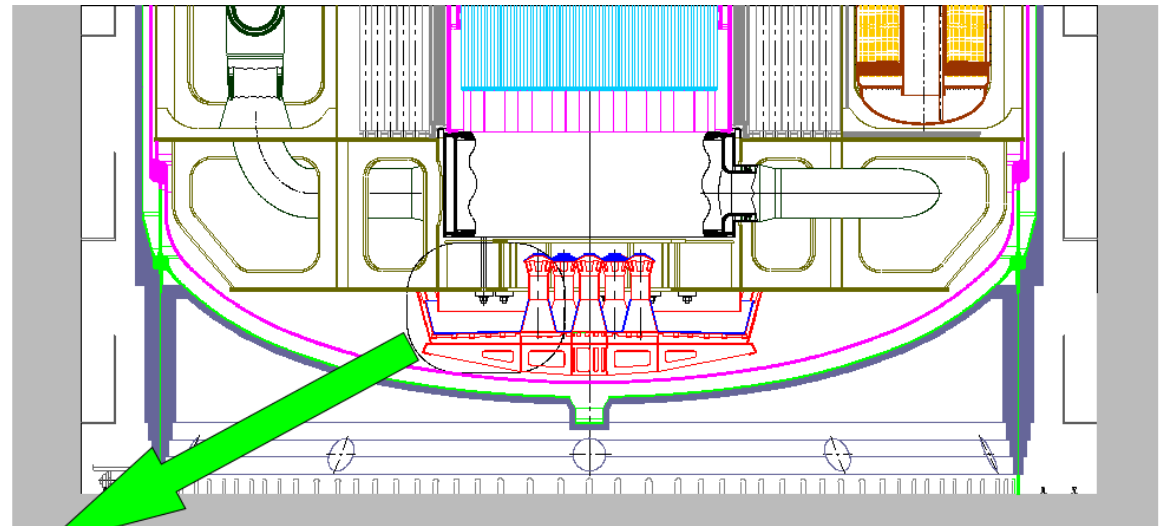
Полностью «пассивное» устройство - поддон создавалось как средство управления запроектными авариями с постулированным разрушением активной зоны для сбора и удержания фрагментов разрушившейся активной зоны внутри корпуса реактора, предотвращения образования критических масс и попадания топлива на днище корпуса.

Поддон представляет собой сварную металлоконструкцию, состоящую из днища и обечайки. Для обеспечения циркуляции теплоносителя в центральной части поддона к днищу приварены семь вертикальных проходов с крышками. Внутренние поверхности днища и обечайки, наружные поверхности вертикальных проходов и их крышек облицованы листами из молибденового сплава.

Тепло от фрагментов топлива, находящегося на устройстве для сбора топлива, и разрушенной активной зоны отводится к ПТО при естественной циркуляции натрия внутри корпуса реактора.

Устройство для сбора топлива - поддон

- РАЗМЕЩЕНИЕ ПОД
НАПОРНОЙ
КАМЕРОЙ ВНУТРИ
КОРПУСА РЕАКТОРА



ОБЛИЦОВКА (МОЛИБДЕНОВЫЙ СПЛАВ)

РАМА

- ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОПАДАНИЯ
ТОПЛИВА НА ДНИЩЕ КОРПУСА
РЕАКТОРА
- ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ
ОБРАЗОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ
МАСС

Натриевая полость в верхней части ТВС активной зоны

Натриевая полость в верхней части ТВС активной зоны РУ БН-800 была введена в проект для обеспечения требований нормативной документации к снижению натриевого пустотного эффекта реактивности (НПЭР) для исключения неуправляемого роста мощности реактора в запроектных авариях с опустошением ТВС активной зоны

Для снижения НПЭР над активной частью вместо верхнего торцевого воспроизводящего экрана введена натриевая полость, над которой размещен поглощающий экран. Достижение близкого к нулю значения НПЭР в реакторе осуществляется за счет компенсации положительной составляющей НПЭР от активной зоны и отрицательной составляющей от натриевой полости. Отрицательная составляющая НПЭР обеспечивается за счет повышенной утечки нейтронов при опустошении верхней натриевой полости и их поглощения в верхнем экране из B_4C (ест.)



Новые требования к обеспечению безопасности

С 2011 года после аварии на японской АЭС «Фукусима-Дайичи» особое внимание стало уделяться требованиям по обеспечению безопасности при запроектных авариях, приводящих к полному обесточиванию АЭС и потере отвода тепла от реактора и хранилищ ядерного топлива

2011 г. - введен в действие План работ по повышению уровня безопасности действующих и сооружаемых российских АЭС и актуализация действующей нормативной документации по безопасности

2016 г. - введена в действие новая редакция федеральных норм и правил в области использования атомной энергии "ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ" (НП-001-15)

2016 г. – проведен анализ безопасности РУ БН-800 в условиях аварии с отказом систем электроснабжения нормальной эксплуатации и аварийного электроснабжения, приводящим к потере принудительной циркуляции в контурах отвода тепла от реактора

Новые требования к обеспечению безопасности

Анализ безопасности показал, что новые технические решения, заложенные в проект РУ БН-800, в целом обеспечивают выполнение требований современных НТД, в том числе по обеспечению управления запроектными авариями, приводящим к полному обесточиванию АЭС и потере отвода тепла от реактора и практически не требуют разработки дополнительных проектных решений по реакторной установке.

Заключение

Введенные усовершенствования позволили довести проект БН-800 по уровню безопасности до требований, предъявляемых к перспективным ядерным энергоблокам.

В результате внедренных решений реактор получил высокую устойчивость к проектным и запроектным авариям и с точки зрения обеспечения безопасности превосходит все современные зарубежные проекты быстрых реакторов. В связи с этим реальный опыт по усовершенствованным системам безопасности на примере действующего реактора БН-800 будет являться важным этапом развития технологии БН.

Спасибо за внимание!