

Региональный форум поставщиков атомной отрасли
«АТОМЕКС-Северо-Запад»
Санкт-Петербург, 17-19 апреля 2012 г.

«Современные проекты АЭС российского дизайна. Безопасность. Экономичность»

С.В. Онуфриенко

к.т.н., директор ОАО «СПбАЭП»



Проекты АЭС, разработанные в СПбАЭП за последние 10 лет

- АЭС с ВВЭР-1000 (Тяньваньская АЭС в Китае, блоки №1-2 и №3-4)
- АЭС с ВВЭР-1200 (ЛАЭС-2, Балтийская АЭС, Белорусская АЭС)
- АЭС с БН-800 (Белоярская АЭС, блок №4)
- АЭС с БН-1200 (Белоярская АЭС, блок №5)
- АЭС БРЕСТ-300



Современные проекты АЭС российского дизайна. Безопасность. Экономичность

- Проект энергоблока повышенной безопасности - АЭС-2006 с ВВЭР-1200. Реализуется на площадках ЛАЭС-2, Балтийской АЭС, Белорусской АЭС;
- Проекты энергоблоков повышенной безопасности с реакторами на быстрых нейтронах БН-800 и БН-1200. Реализуются на площадке Белоярской АЭС.



Проект АЭС-2006

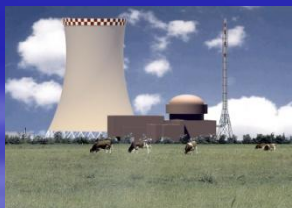


Проект АЭС-2006

- Проект АЭС-2006 – краткое наименование современного эволюционного проекта АЭС, разработанного на базе российского и международного опыта разработок и эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР и PWR.
- При создании проекта АЭС-2006 в качестве **референтного** использовался проект АЭС-91, разработанный в СПбАЭП и реализованный на двух энергоблоках Тяньваньской АЭС в Китае.
- В настоящее время по проекту АЭС-2006 сооружаются два блока Ленинградской АЭС-2 и начинаются работы по сооружению двух блоков на площадке Балтийской АЭС и двух энергоблоков на площадке Белорусской АЭС

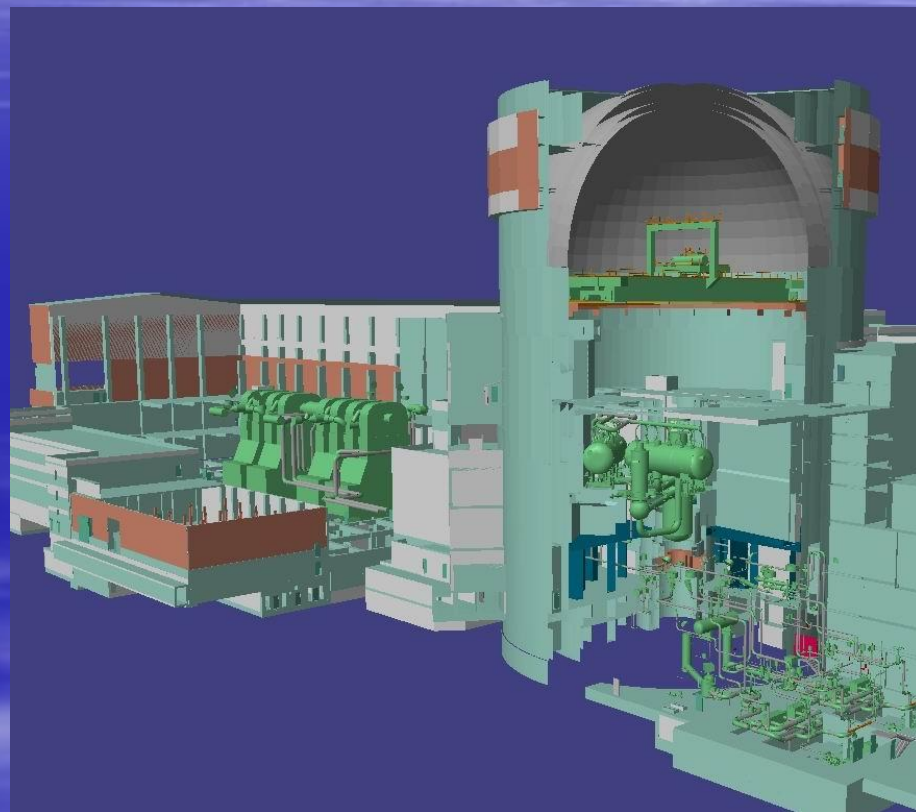


Развитие проектов АЭС с ВВЭР



Основные технические решения проекта АЭС-2006

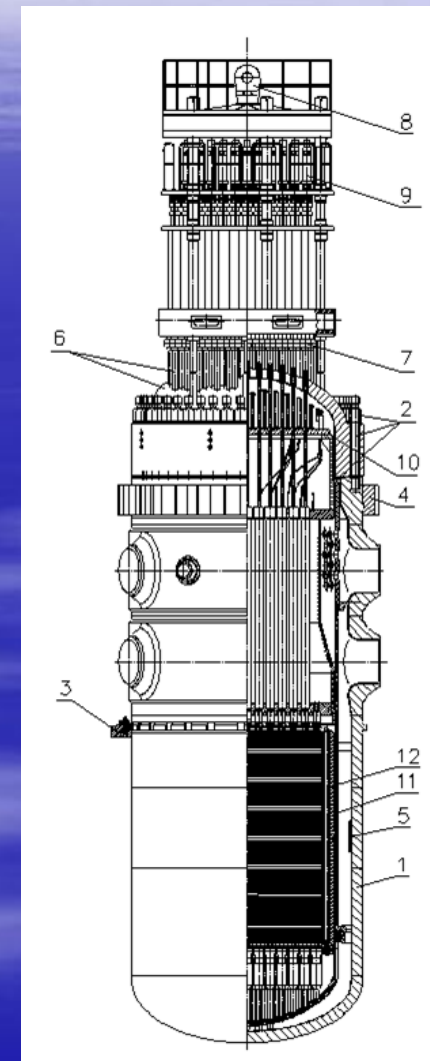
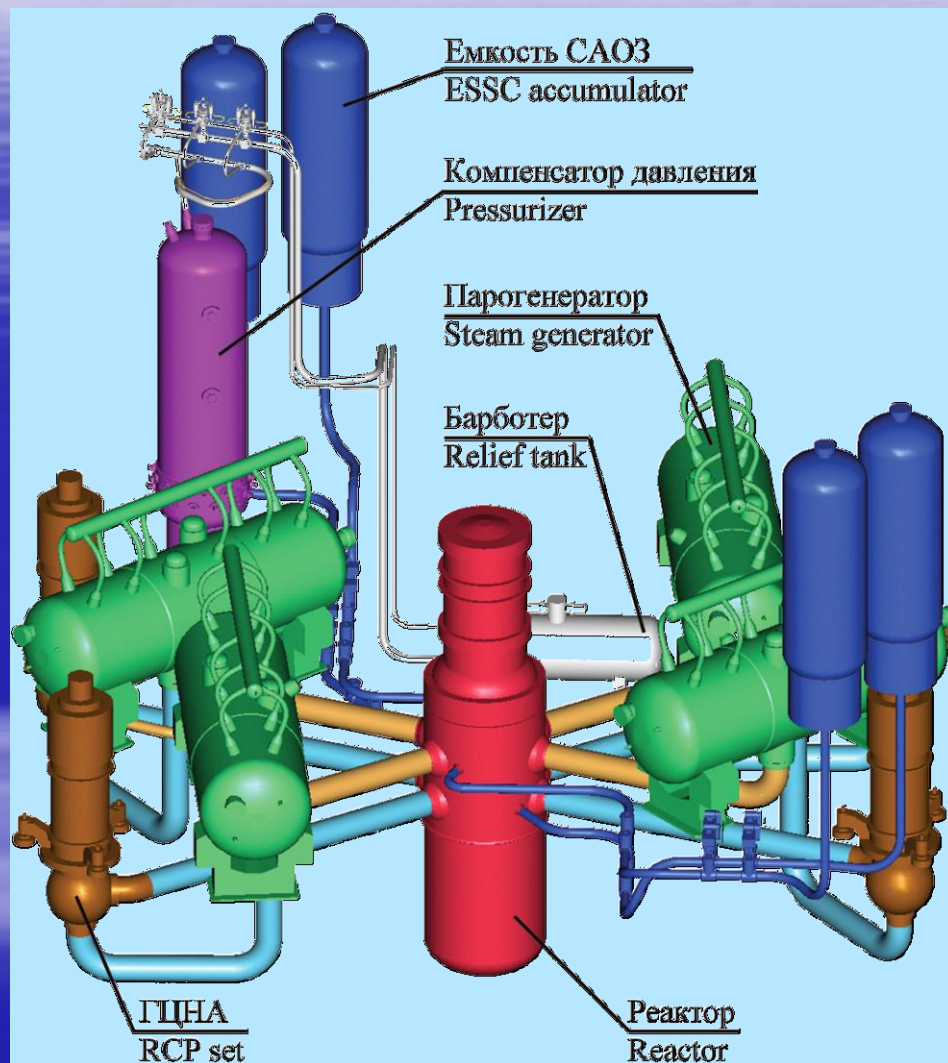
- Двойная защитная оболочка
- Классическая активная 4-х канальная система безопасности
- Специальные технические средства для управления ЗПА, использующие пассивные принципы действия:
СПОТ-ПГ, СПОТ-ЗО, система подавления водорода, ловушка для удержания расплава при тяжелой аварии и др.



Основные технико-экономическими показатели на примере проекта Балтийской АЭС с энергоблоками ВВЭР-1200

	Наименование и размерность показателя	параметр
1	Мощность энергоблока, МВт: -электрическая (брутто) -тепловая	1194 3200
2	Срок службы незаменимого оборудования , лет	60
3	Расход электроэнергии на собственные нужды, %	7,15
4	КПД, % - брутто - нетто	37,17 34,51
3	КИУМ, %	90
4	Численность промышленно-производственного персонала для двух энергоблоков при условии сервисного обслуживания, чел.	1147
5	Среднегодовой отпуск электроэнергии при работе АЭС в базовом режиме без отпуска теплоты, млн. кВт·ч	8517,8
	Теплофикационная мощность энергоблока, МВт	300

Реакторная установка ВВЭР-1200



Основные здания АЭС



Основа концепции безопасности АЭС-2006

- Соответствие национальным нормативным документам, рекомендациям МАГАТЭ и требованиям EUR;
- Использование опыта эксплуатации действующих АЭС с ВВЭР и PWR;
- обеспечение требуемого уровня безопасности, в том числе и при ЗПА, на основе выбора рациональной конфигурации систем безопасности с применением активных и пассивных элементов.



Основной критерий при выборе концепции безопасности

Обеспечить с разумным запасом выполнение
требований по безопасности при безусловном
обеспечении рыночной привлекательности проекта



Отличие проекта АЭС-2006 от референтной АЭС-91

- Увеличение мощности с энергоблока 1060 до 1190 МВт;
- Увеличение срока службы энергоблока с 40 до 50 лет;
- Внедрение пассивных систем управления ЗПА:
 - СПОТ ПГ и СПОТ ЗО;
- Размещение баков-приямков запаса борированной воды внутри защитной оболочки;
- Увеличение автономности АЭС от внешних источников энергоснабжения с 2-х до 24-х часов, с возможностью увеличения до 72 часов;
- Использование регулируемой и ремонтпригодной системы натяжения внутренней защитной оболочки;
- использования оборотного водоснабжения с башенными градирнями и др.)

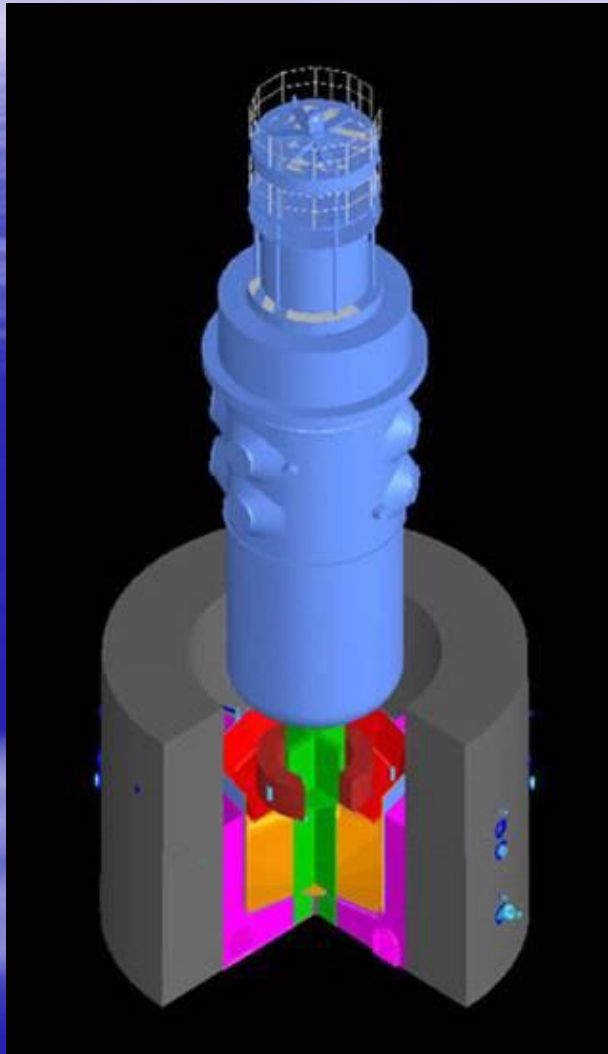


Системы управления ЗПА

- Пассивная система отвода тепла через парогенераторы (СПОТ-ПГ);
- Пассивная система отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ-ЗО);
- Ловушка расплава
- Система удаления водорода



Устройство локализации расплава (ловушка расплава)



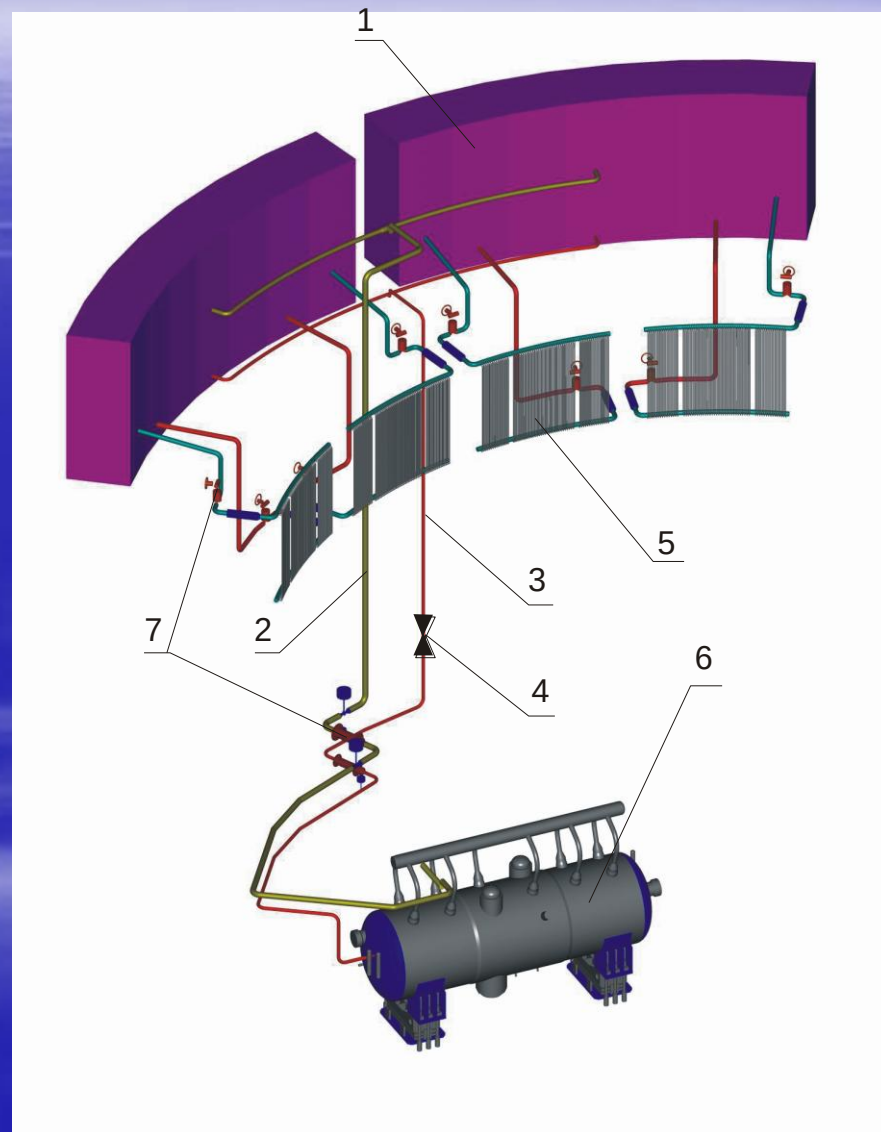
- Размещение устройства локализации в шахте реактора ниже корпуса реактора
- Прием и размещение твердых и жидких составляющих расплава топлива;
- Обеспечение отвода тепла от расплава топлива к охлаждающей воде;
- Защита шахты реактора от термомеханического воздействия расплава топлива;
- Обеспечение подкритичности расплава;
- Уменьшение выхода водорода и радионуклидов под защитную оболочку.



СПОТ ПГ и СПОТ ЗО (принципиальная схема)

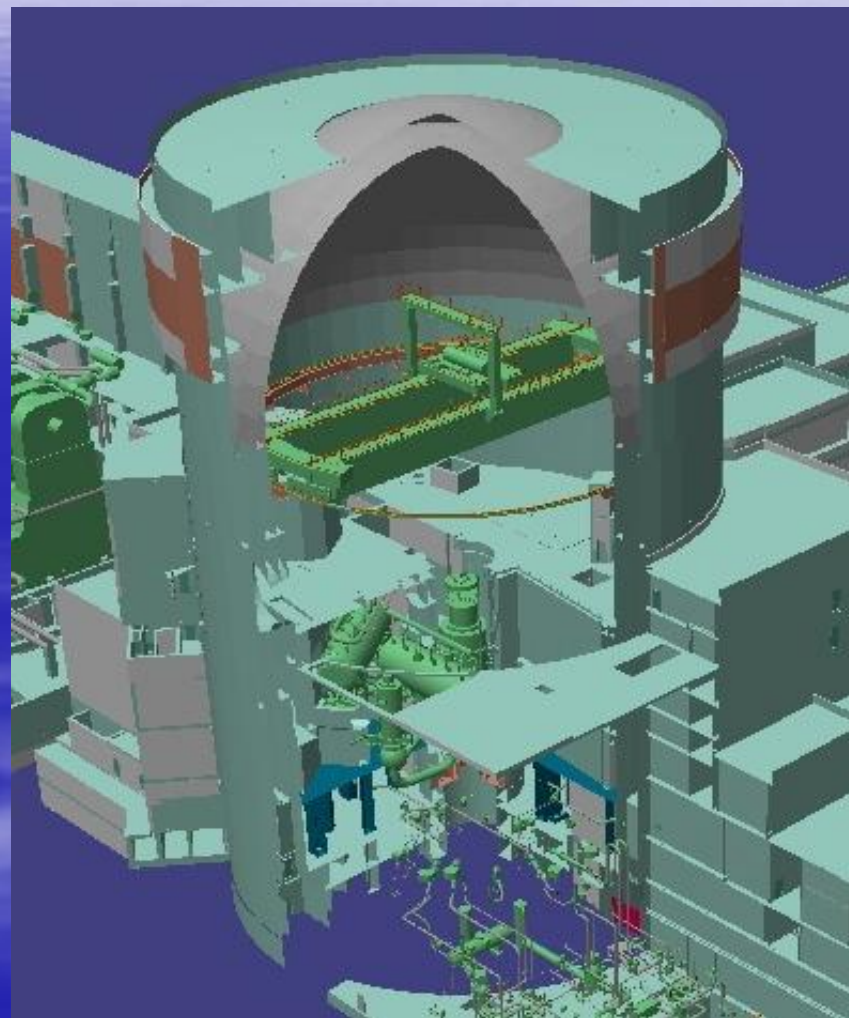
СПОТ ПГ – предотвращение плавления активной зоны при ЗПА, таких как полное обесточивание, полная потеря питательной воды, и др. (т.е. перехода ЗПА в тяжелую фазу);

СПОТ ЗО - долговременный отвод тепла из объема защитной оболочки при любых ЗПА, в том числе связанных с полным обесточиванием.



Защитная оболочка

- Внутренняя герметичная оболочка – цилиндрическая конструкция из предварительно напряженного железобетона с полусферическим куполом и плитой основания из железобетона. Внутренняя поверхность герметичной оболочки покрыта сварной облицовкой.
- Наружная защитная оболочка - цилиндрическая конструкция из железобетона с полусферическим куполом.
- Все трубопроводы, проходящие через оболочку, оборудованы локализирующей арматурой.



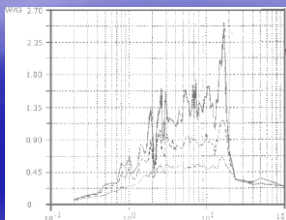
Защита от внешних воздействий



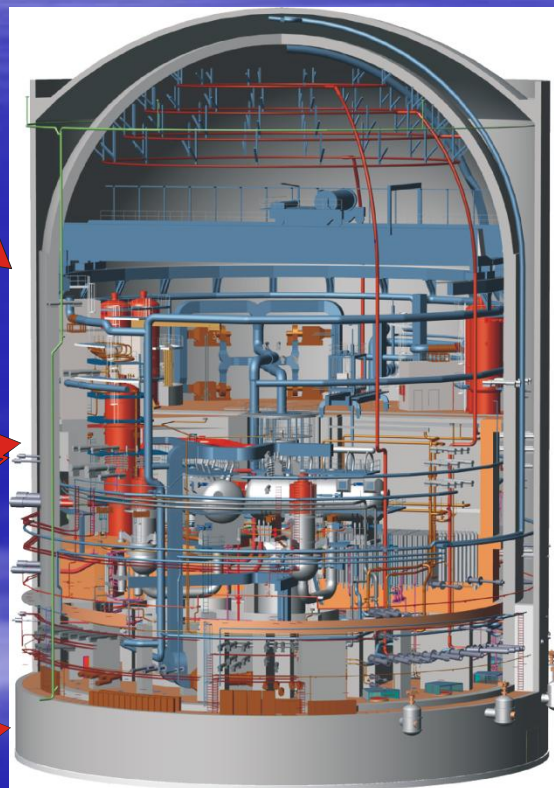
Падение самолета, 5.7 г



Снеговые нагрузки
4.3 кПа



Землетрясения
0.125g



Ураганы,
Смерчи,
Торнадо
Фуджита
F3.6



Внешние взрывы
30 кПа, 1 с



Наводнения



Вероятностные показатели проекта (ВАБ этапа технического проекта)

Вероятность плавления активной зоны – $6,0 \cdot 10^{-7}$
1/год, в том числе:

- при работе на мощности: $2,3 \cdot 10^{-7}$
- в стояночных режимах: $3,7 \cdot 10^{-7}$

Частота предельного аварийного выброса - $1.8 \cdot 10^{-8}$
1/год



Радиационная безопасность населения при авариях

- Проектные аварии:
 - Радиационные последствия для населения не превысят пределы, установленные для нормальной эксплуатации;
 - Радиус санитарно-защитной зоны не превысит 0.8 км.
- Тяжелые аварии:
 - Исключена эвакуация населения, проживающего в непосредственной близости от АЭС;
 - Радиус зоны планирования защитных мероприятий для населения не превысит 3 км.



Референтность проекта

Тяньваньская АЭС в Китае



Строительство Тяньваньской АЭС



Итоги по проекту АЭС-2006

- Проект АЭС-2006 является эволюционным развитием проектов АЭС с ВВЭР и PWR. Данный проект отвечает всем действующим российским и международным нормам по безопасности, включая рекомендации МАГАТЭ и требования EUR;
- Преимуществами эволюционного подхода являются сокращение сроков и стоимости проектирования, обеспечение референтности технических решений;
- Технические решения, дополнительно принятые в проекте по сравнению с референтной АЭС, позволяют улучшить технические показатели и показатели безопасности.



Современные проекты АЭС российского дизайна. Безопасность. Экономичность

Проект энергоблока нового поколения
на быстрых нейтронах БН-1200
повышенной безопасности



Разработанные и утвержденные на текущий момент материалы по БН-1200

- Инвестиционный замысел строительства энергоблока № 5 Белоярской АЭС с реактором БН-1200. Экономическое обоснование выбора пункта размещения, утвержден 18.01.2012 г
- «Обоснование инвестиций в строительство энергоблока БН-1200» (ОБИН), 2010 г.;
- Декларация о намерениях инвестирования в строительство энергоблока 5 Белоярской АЭС, утверждена 28.09.2011г
- План мероприятий по подготовке сооружения энергоблока № 5 Белоярской АЭС, утвержден 29.12.2011г
- Отчет по обоснованию безопасности энергоблока с РУ БН-1200 для получения лицензии на размещение энергоблока, от 30.03.2012 г.



Общая характеристика энергоблока

- Энергоблок БН-1200 выполнен по принципу моноблока: один реактор – одна турбина;
- Тепловая схема энергоблока трехконтурная: теплоносителем 1 и 2 контуров является натрий, рабочим телом 3 контура служит пар и вода;
- Первый контур включает четыре петли, каждая из которых имеет в своем составе ГЦН-1 и промежуточный теплообменник. Все оборудование 1 контура размещено в пределах корпуса реактора;
- Второй контур – нерадиоактивный, включает в себя четыре петли. В состав каждой петли входят двухсекционный ПГ, ГЦН-II, совмещенный с буферной емкостью, и трубопроводы;
- Третий контур включает паровую турбоустановку



Основные параметры энергоблока с реакторной установкой БН-1200

№ п/п	Наименование параметра	Величина
1	Тепловая мощность реактора, МВт	2800
2	Электрическая мощность энергоблока, МВт	1220
3	Состав основного оборудования: -реактор, тип -турбина, тип -генератор, тип	БН-1200 К-1200-130/3000 ТЗВ-1200-2УЗ
4	Параметры теплоносителя I контура, °C	410/550
5	Параметры теплоносителя II контура, °C	355/527
6	Параметры острого пара (на выходе из ПГ): -давление, МПа -температура, °C	17,0 510
7	Тип промперегрева пара	Паровой
8	Число часов использования установленной мощности, ч/год	7896
9	Срок службы основного оборудования (незаменимого), лет	60
10	Расход электроэнергии на собственные нужды, %	≤7,0
11	КПД АЭС (брутто), %	43,6
12	КПД АЭС (нетто), %	40,5



Основные принципы и направления разработки энергоблока с реактором БН-1200

- Максимальное использование апробированных технических решений, реализованных в проектах реакторов БН-350, БН-600, БН-800;
- Применение новых технических решений, включая:
 - полное интегрирование натриевых систем и оборудования первого контура в баке реактора;
 - применение корпусных ПГ;
 - использование систем безопасности, основанных на пассивном принципе действия;
 - другие технические решения, обеспечивающие повышение безопасности и эффективности проекта.



Реализация новых технических решений ПОЗВОЛИТ

- Сократить количество технологических и обеспечивающих систем, тем самым снизить удельные показатели по металлоемкости, стоимости оборудования и строительному объему;
- снизить до величины не более 10^{-6} на реактор в год вероятность тяжелого повреждения активной зоны и, соответственно, уровень выбросов активности в окружающую среду при запроектных авариях;
- Исключить необходимость эвакуации и отселения населения, проживающего в районе АЭС и существенно ограничить размеры зоны планирования защитных мероприятий по сравнению с установленными в действующей нормативной документации.



Сравнительные данные по количеству технологических систем энергоблоков БН-600, БН-800, БН-1200

№	Система	БН-600	БН-800	БН-1200
1	Система очистки натрия I контура	+	+	Встроена в бак реактора
2	Система натриевой петли спектрометрии	+	+	-
3	Система отбора проб натрия I контура	+	+	-
4	Система бакового хозяйства I контура	+	+	-
5	Система дренажей и сдувок I контура	+	+	-
6	Система охлаждения барабана отработавших сборок	+	+	-
7	Система дренажей и сдувок барабана отработавших сборок (БОС)	+	+	-
8	Система воздушного охлаждения барабана отработавших сборок (БОС)	+	+	-
9	Система защиты барабана отработавших сборок (БОС) от превышения давления	+	+	-
10	Система индикатора окислов I контура (реактора)	+	+	Встроена в бак реактора
11	Система индикатора окислов барабана отработавших сборок (БОС)	+	+	-
12	Система очистки натрия барабана отработавших сборок	+	+	-
13	Система охлаждения индикаторов окислов I контура и барабана отработавших сборок	+	+	-
14	Система аварийной пожарной вентиляции натриевых помещений I контура	+	+	-
15	Система вентиляции натриевых помещений I контура	+	+	-



Сравнительные технико-экономические показатели энергоблоков с реакторами БН-600, БН-800, БН-1200

№	Параметры	БН-600	БН-800	БН-1200
1	Тепловая мощность реактора, МВт	1470	2100	2800
2	Электрическая мощность энергоблока, МВт	600	880	1220
3	Состав основного оборудования: - реактор, шт x тип - турбина, шт x тип - генератор, шт x тип	1xБН-600 3xК-200-130 3xТГВ-200М	1xБН-800 1xК-800-130 1xТЗВ-800-2	1xБН-1200 1xК-1200-130 1xТЗВ-1200-2
4	Число петель теплоотвода, шт	3	3	4
8	Давление пара на выходе из ПГ, МПа	13,7	14,0	17,0
9	Конструкция парогенератора	Секционно-модульная	Секционно-модульная	Корпусная
10	Тепловая схема промежуточного перегрева пара	Натриевая	Паровая	Паровая
11	Срок службы основного оборудования, лет	30	40	60
12	КПД АЭС (брутто), %	42,5	41,9	43,6
13	КПД АЭС (нетто), %	40,0	38,8	40,5
14	КИУМ, %	76	85	90
16	Удельная кубатура главного корпуса, м ³ /МВт	1150,0	750,0	560,0



Итог по проекту энергоблока БН-1200

Разработки, выполненные по энергоблоку БН-1200 показывают, что:

- Концепция энергоблока с реактором БН-1200 базируется на многолетнем опыте разработки и эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем;
- Применение новых технических решений на энергоблоке БН-1200 повышает безопасность энергоблока и улучшает экономические показатели;
- Энергоблок по показателям надежности работы и обеспечению уровня безопасности полностью отвечает российским и международным требованиям;
- Разработка проекта энергоблока БН-1200 возможна до 2014 года с завершением строительства головного энергоблока в 2020 году.



Технико-экономические показатели энергоблоков с БН-1200 и ВВЭР-1200

№ п/п	Наименование показателя	БН-1200 (Белоярская АЭС, головной блок)	ВВЭР-1200 (Балтийская АЭС блоки 1 и 2)
1	Установленная мощность АЭС	1220	2 * 1194
2	Параметры острого пара (на выходе из ПГ): - давление, МПа - температура, °С	17,0 510	7,0 286
3	Температура питательной воды, °С	275	225
5	Срок службы основного оборудования (незаменимого), лет	60	60
6	КПД АЭС (брутто / нетто), %	43,60 / 40,50	37,17 / 34,51
4	КИУМ, %.	90	90
7	Капитальные вложения на строительство АЭС, млн.руб.	103 954,7	204 271,1
8	Удельная стоимость «кВт», руб./кВт / \$/кВт	85069,0 / 2835,6	85540,7 / 2851,4



Заключение

- Представленные энергоблоки с ВВЭР-1200 и БН-1200 по показателям надежности работы и обеспечению уровня безопасности полностью отвечает российским и международным требованиям;
- Экономические показатели энергоблоков обеспечивают их конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынке;
- При серийном строительстве следует ожидать дальнейшее улучшение технико-экономических показателей энергоблока с реактором БН-1200 по сравнению с ВВЭР, учитывая, что потенциальные возможности совершенствования АЭС с ВВЭР, в ущерб их экономике, к настоящему времени в значительной степени исчерпаны.

