



РОСЭНЕРГОАТОМ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИВИЗИОН РОСАТОМА

Работа энергоблоков АЭС на повышенном уровне мощности. Перспективы дальнейшего повышения мощности до 107-110%

Заместитель Генерального директора - директор
по производству и эксплуатации АЭС

Александр Викторович Шутиков

www.rosenergoatom.ru

История вопроса

1

**Дефицит
электроэнергии**

2

**Экономическая
выгода**

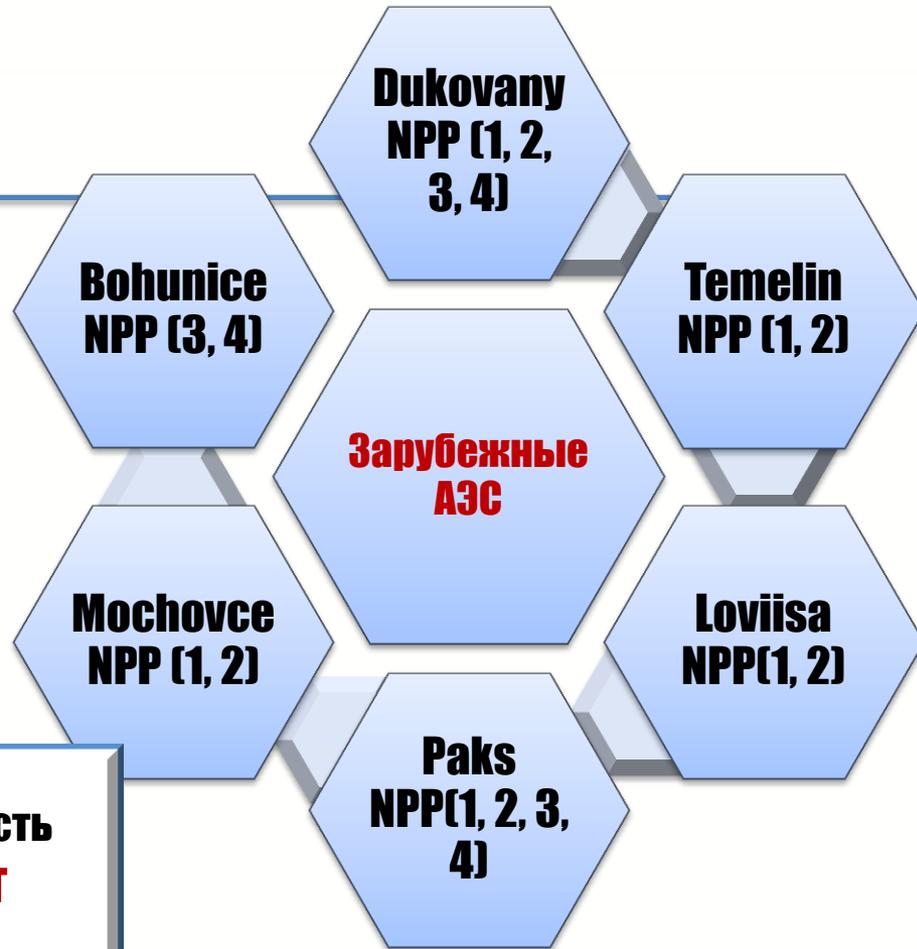
Стоимость
1 кВт
при
сооружении
новых
генерирующих
мощностей

≈ 10 x

Стоимость
1 кВт
при
увеличении
мощности на
существующих
АЭС

3

**Атомные станции с
повышенной мощностью, где
успешно используется
советское реакторное
оборудование**



Основные этапы повышения тепловой мощности

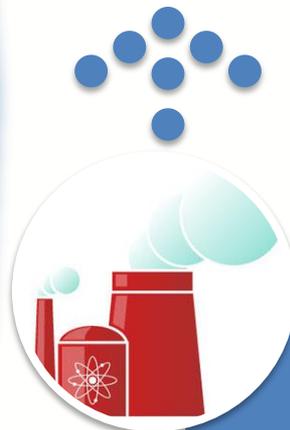
Отраслевая программа по увеличению выработки электроэнергии на действующих АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом» на 2007-2015 гг.

ПРОГРАММА по увеличению выработки электроэнергии на действующих энергоблоках АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом» на 2011-2015 годы

Приказы концерна РЭА

Подпрограммы по направлениям

Рабочие программы и графики реализации



107-110%Нуст.

1 блок ВВЭР-1000 – 4БЛ



104%Нуст.

9 блоков ВВЭР-1000



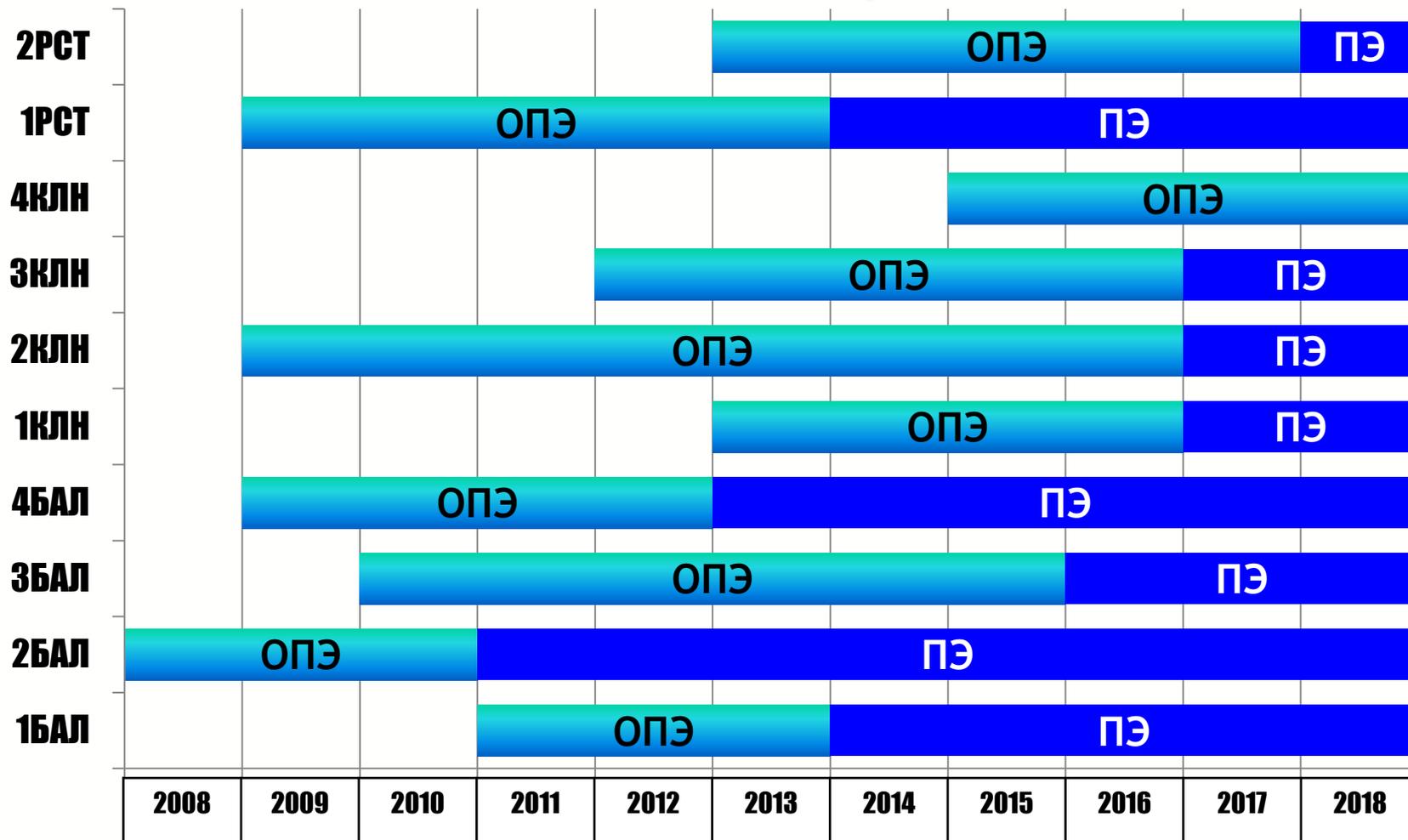
100%Нуст.

10 блоков ВВЭР-1000

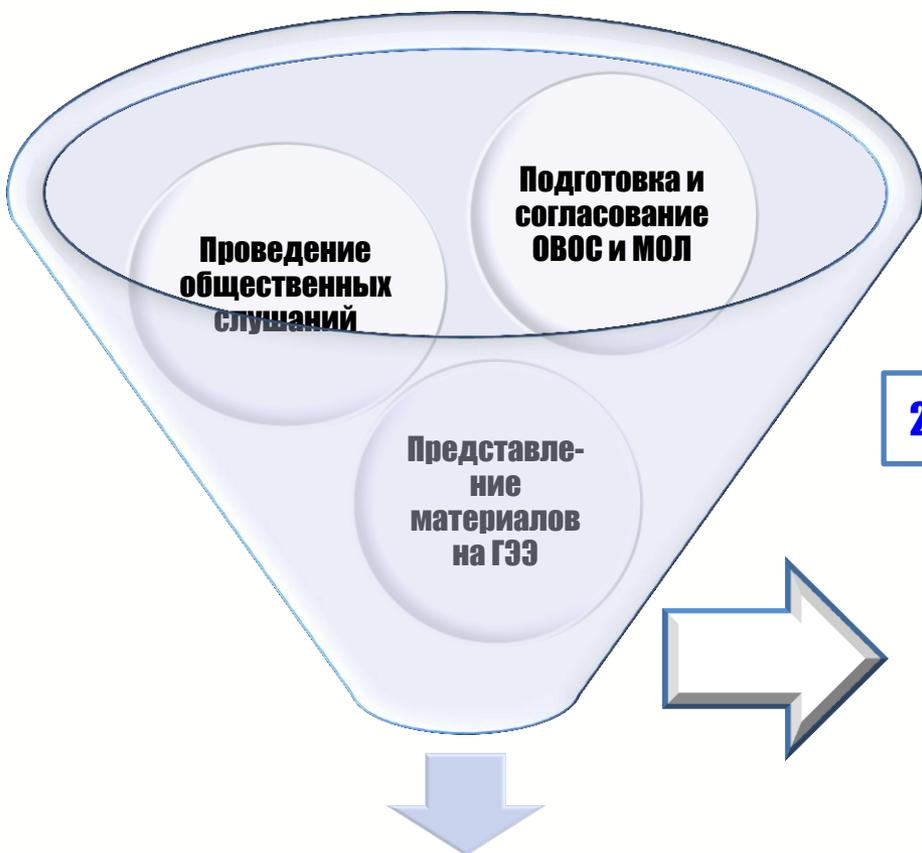


График перевода энергоблоков ВВЭР-1000 на работу с повышенной мощностью 104%Nном.

36 реактор-лет



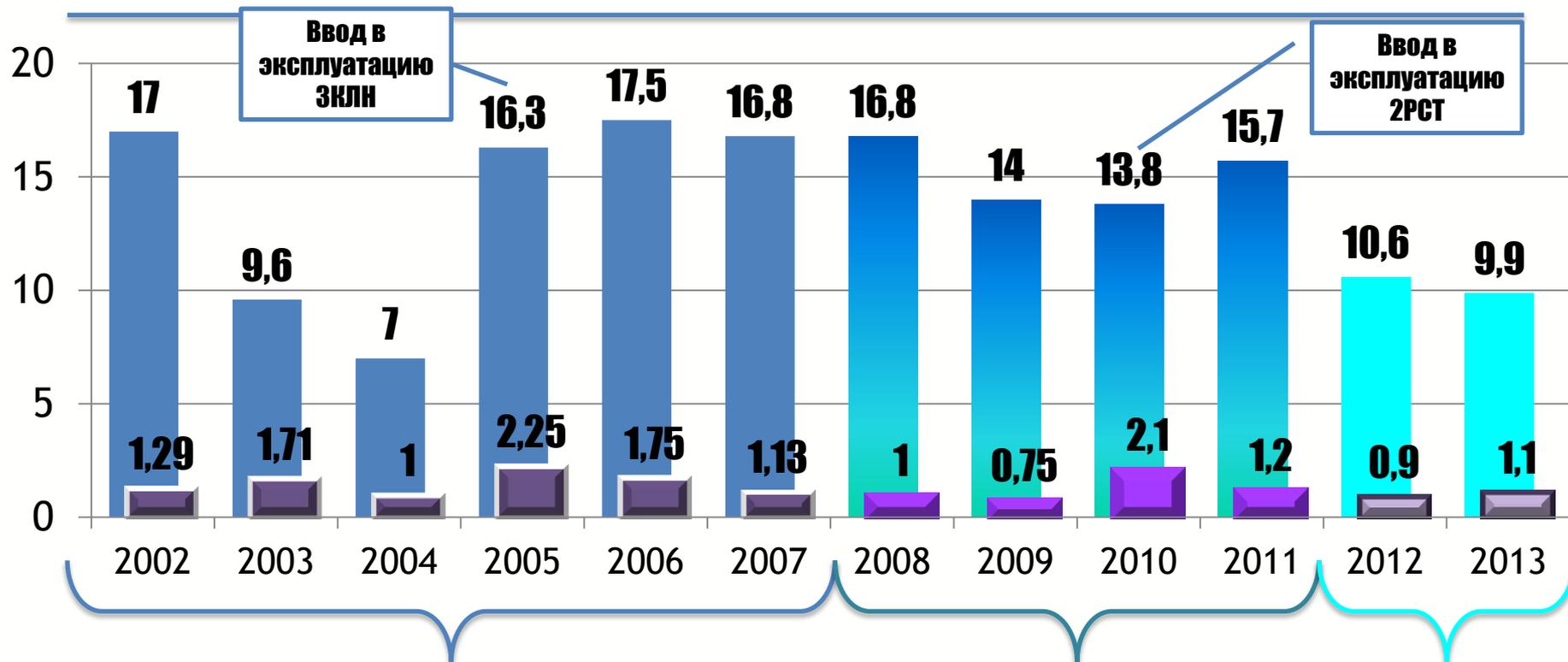
Государственная экологическая экспертиза материалов обоснований лицензий на повышение мощности энергоблоков АЭС



Заключение экспертной комиссии ГЭЭ



Динамика отклонений и нарушений на 9 блоках АЭС, перешедших на работу на повышенной мощности (кол-во/блок)



N= 100% Нуст.

1,52 нарушение/блок/год

15,2 отклонения/блок/год

Переходный период

1,26 нарушение/блок/год

15,1 отклонения/блок/год

N= 104% Нуст.

1,0 нарушение/блок/год

10,3 отклонения/блок/год



Результаты опытно-промышленной эксплуатации на повышенном уровне мощности

выполнено

радиоэкологические и экологические исследования состояния наземных и водных экосистем

производственный экологический и радиационный контроль

1. ни на одном из блоков не выявлено значимых изменений в окружающей среде;
2. значения годовых газоаэрозольных выбросов радионуклидов были существенно ниже нормативных значений, регламентированных СПАС-03;
3. содержание радионуклидов в жидких сбросах, отводимых от АЭС в водные объекты не превышает допустимых сбросов (ДС), утвержденных для АЭС;
4. наблюдаемые значения объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде водных объектов в 300 - 500 раз меньше уровня вмешательства (УВ) по НРБ-99/2009;
5. максимальные уровни расчетной дозы облучения населения как минимум в 60 раз меньше допустимого уровня (1 мЗв/год) по НРБ-99/2009;
6. уровни годовых величин сбросов и выбросов, объемов образования отходов производства и потребления, не обусловлены работой энергоблоков на повышенной мощности.



Результаты эксплуатации при работе на повышенной мощности

Наименование параметра	Уровень мощности	
	104 % Нном.	Эксп.предел
Теплогидравлические характеристики		
Тепловая мощность реактора (с учётом точности поддержания системой регулирования), МВт	3115-3120	3120
Подогрев теплоносителя в реакторе, °С	29,7-32,5	33,5
Максимальный подогрев теплоносителя в петле/максимальная мощность петли реактора, °С /МВт	30,0-32,4/ 758-797	33,0/800
Максимальный подогрев теплоносителя на ТВС по показаниям СВРК, °С	39,4-43,0	44,5
Температура теплоносителя на входе в реактор в любой из работающих петель, °С	287-290,3	291
Нейтронно-физические характеристики		
Максимальная мощность ТВС по показаниям СВРК, МВт	23,8 – 26,0	27
Коэффициент неравномерности энерговыделения ТВС по показаниям СВРК	1,24-1,40	-
Минимальный запас по неравномерности энерговыделения по объёму активной зоны по показаниям СВРК	1,05	Не менее 1

Значения, полученные в результате проведенных измерений, согласуются с расчетными данными и удовлетворяют требованиям и проектным ограничениям

Значения параметров ТГ и возбудителя

Наименование параметра	Значение параметров при значении мощности		Предельные значения параметров
	100 %	104 %	
Мощность активная, МВт	1035	1070	1100
Ток ротора, А	5680	5390-6050	7000
Ток статора, А	25790	26340-26690	26730
Напряжение ротора, В	333	340-360	435
Максимальная температура обмотки статора, °С	49,1	51,6-72,0	75
Максимальная температура стали статора, °С	50,9	53,2-73,7	105
Температура водорода «холодного»/«горячего», °С	32,9 / 42,5	32,1-38,1/ 43,0-58,0	40 / 75
Температура дистиллята в обмотке статора вход/выход, °С при расходе 215 м³/ч	35,3 / 53,1	36,1-39,8 / 55,5-73,0	40 / 80
Температура воздуха возбудителя «холодного»/«горячего», °С	37,1 / 56,3	39,5-52,2/ 56,4-78,6	50 / 80
Температура контактов выключателя КАГ-24, °С	54,8	56,5-60,2	120

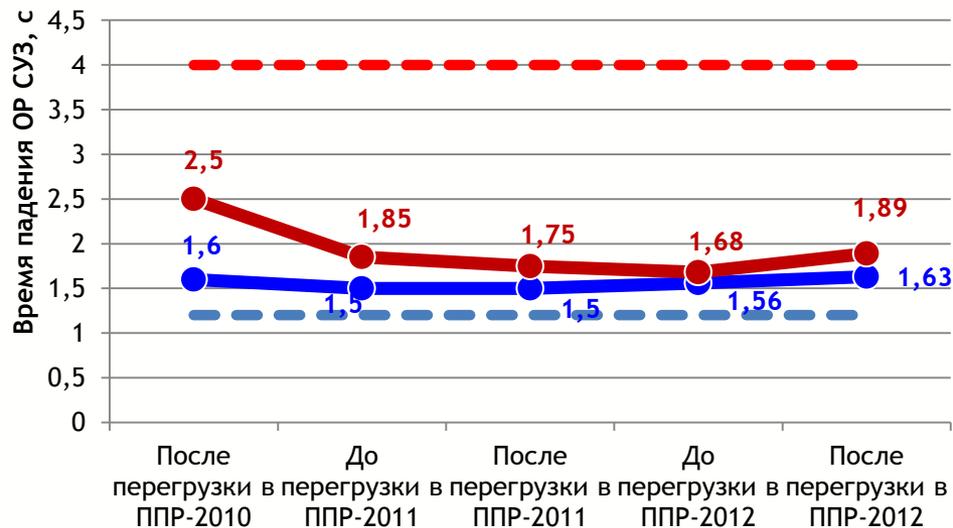


Результаты эксплуатации при работе на повышенной мощности (на примере Балаковской АЭС)

Проверки проходимости ОР СУЗ показали:

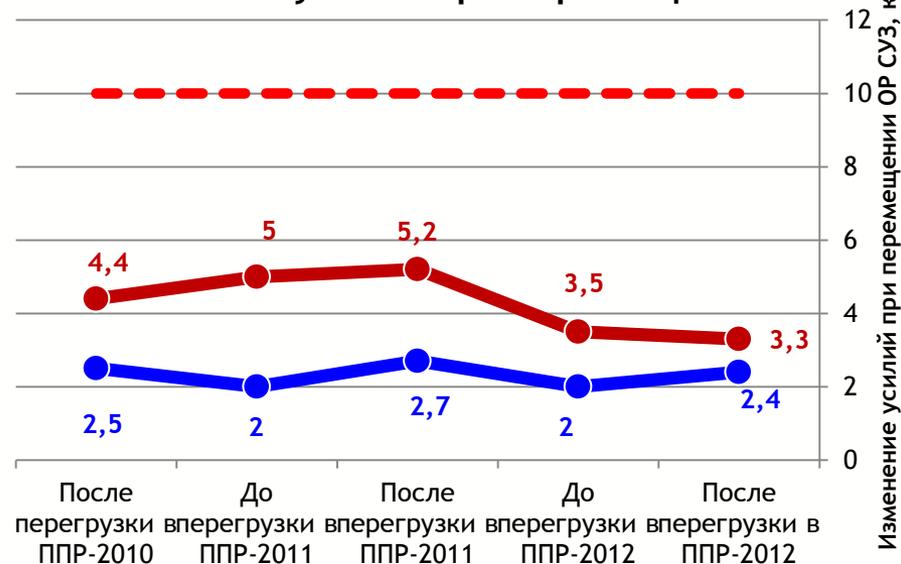
- время падения ОР СУЗ соответствует проектным требованиям
- застревания ОР СУЗ в промежуточном положении отсутствуют
- превышения усилий перемещений приводов СУЗ не выявлено

Максимальные и минимальные значения времени падения ОР СУЗ



min доп. Min Max max доп.

Максимальные и средние значения изменения усилий при перемещении ОР

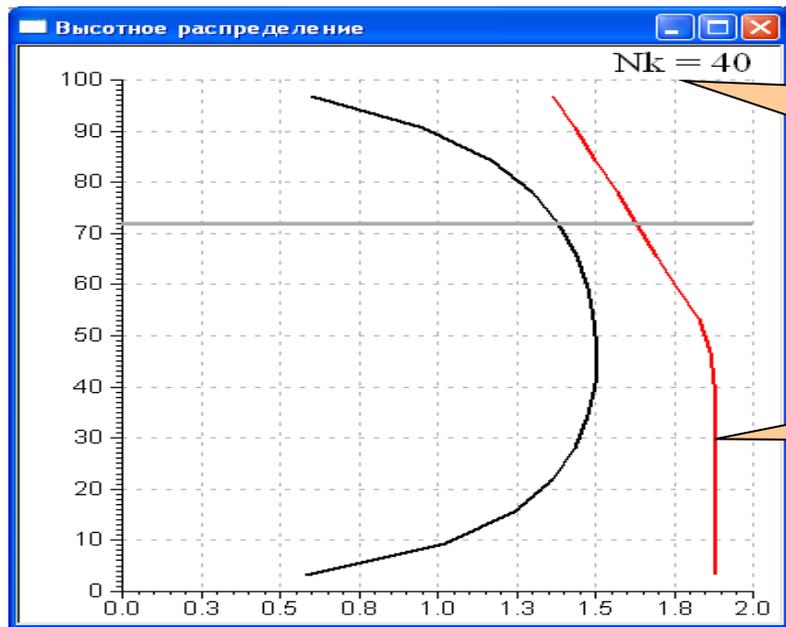


Сред. Max max доп.

Максимальные значения среднемесячной суммарной удельной активности радионуклидов I31-135 в теплоносителе 1 к. за 2013 год и первый квартал 2014 года



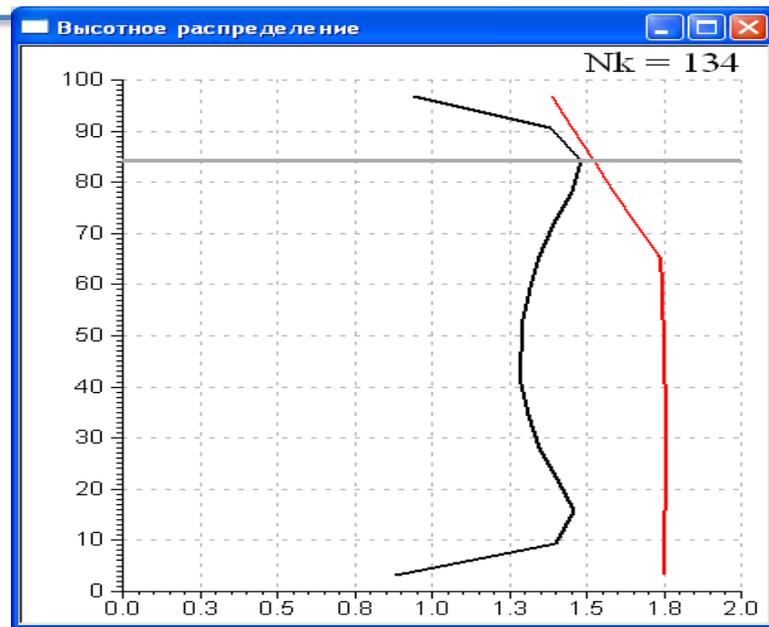
Ограничения по энерговыделению в активной зоне



N ячейки активной зоны

Kудоп

10 эфф. сутки



400 эфф. сутки

Для топливных циклов длительностью до 18-ти месяцев при работе на мощности 104% номинальной при выборе очередных загрузок существует проблема превышения максимально допустимого коэффициента запаса до предельных значений линейного энерговыделения твэл и допустимых коэффициентов неравномерности объемного энерговыделения ($K_{удоп}$) в верхней части активной зоны в конце топливной кампании (примерно на 400 эфф.сутки).

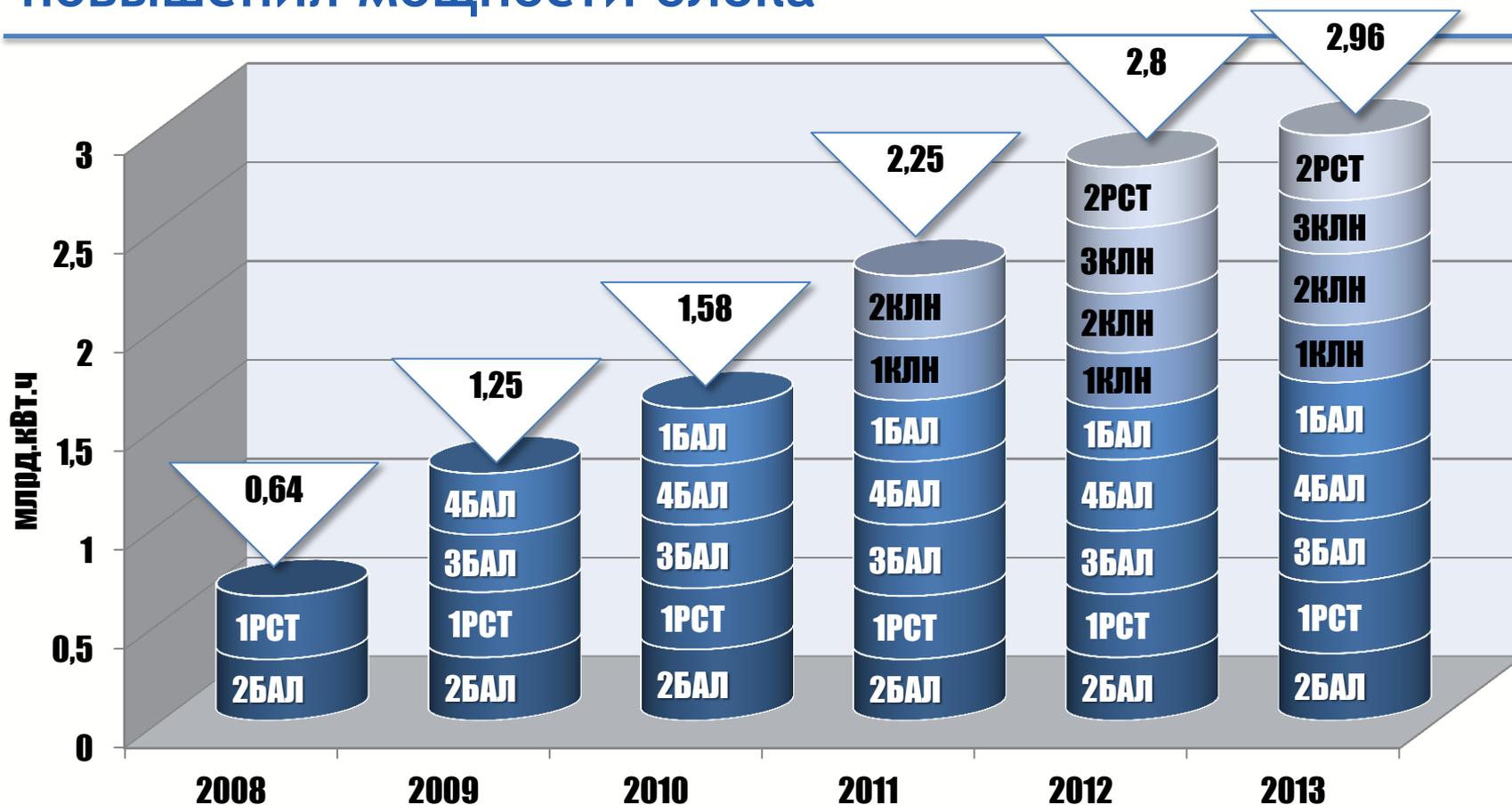


Результаты эксплуатации энергоблоков при работе на повышенной мощности. Выводы

- ➔ Фактические основные параметры РУ не превышали установленных эксплуатационных пределов и соответствовали требованиям и проектным ограничениям
- ➔ Фактические основные параметры турбоагрегата и конденсатно-питательного тракта не превышали установленных эксплуатационных пределов и соответствовали требованиям эксплуатационной документации. Максимальные значения виброскорости подшипниковых опор не превышали допустимого значения 4,5 мм/сек.
- ➔ Фактические основные электрические параметры турбогенератора и возбуждателя (ток ротора, ток статора), а также температуры охлаждающих сред ТГ не превышали номинальных значений и допустимых величин и соответствовали требованиям заводской технической документации ТГ и возбуждателя.



Дополнительная выработка электроэнергии за счет повышения мощности блока



ИТОГО за 2008-2013 гг. = **11,49** млрд.кВт.ч

Затраты на модернизацию за 2008-2013 гг. ~ **2,7** млрд. руб.



Основные этапы повышения тепловой мощности до 107-110%. Пилотный блок - №4 Балаковской АЭС

НИОКР: обоснование и определение предварительного объема модернизаций и испытаний РУ-320.

НИОКР: обоснование безопасной эксплуатации активной зоны из ТВС-2М с интенсификаторами теплообмена на мощности 110% Nном

Проведение модернизации и сепарационных испытаний ПГ при работе РУ на 3-х петлях и мощности 80%Nном.

Определение объема модернизаций блока № 4.

Корректировка документации по обоснованию безопасности и проведение модернизаций (генератор, турбина, оборудование 2-го контура, парогенераторы, АСУ ТП РУ и др. в соответствии с разработанными требованиями). Проведение испытаний блока № 4 на мощности 107%-110%Nном



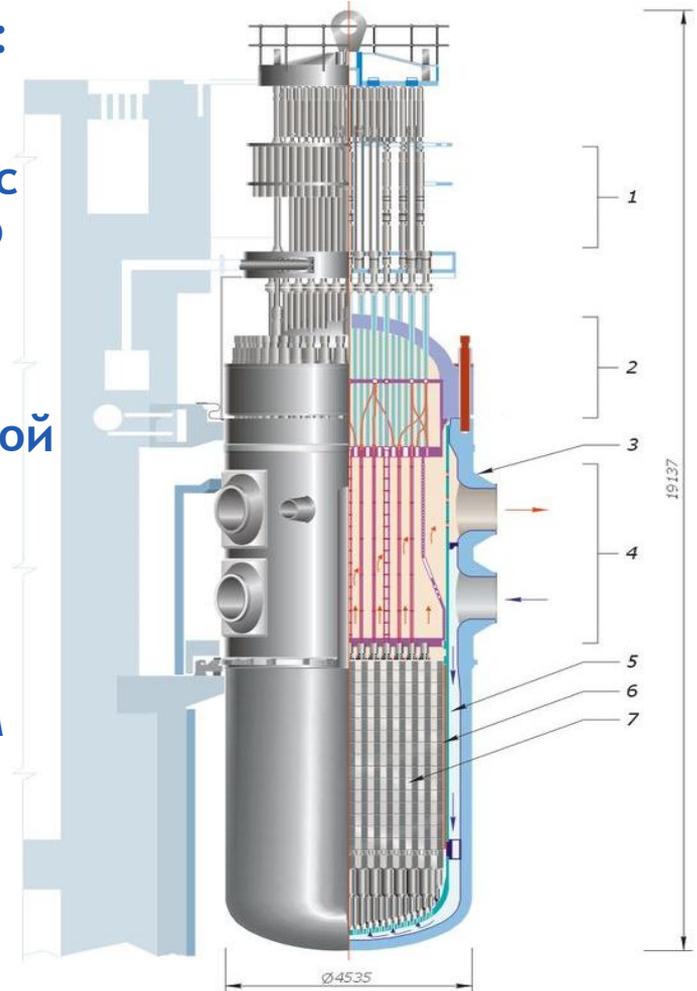
Реакторная установка

По РУ НИОКР велись по следующим темам:

- обоснование точности расчета радиационных нагрузок на ВКУ и корпус реактора, комплекс работ по снижению консерватизма расчета флюенса;
- обоснование работоспособности выгорядки активной зоны на повышенной мощности.

По результатам сделан вывод:

при повышении мощности РУ до 110% $N_{ном}$ модернизация корпуса реактора и ВКУ не требуется.



Необходимость модернизации оборудования для увеличения мощности до 107-110% Nном.

ТВС установка в ТВС-2М перемешивающих решеток (ПР)

СОТОВОГО ТИПА



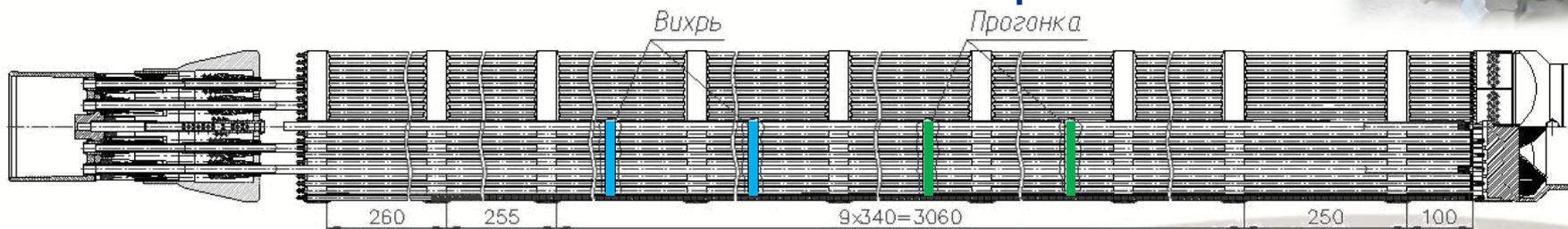
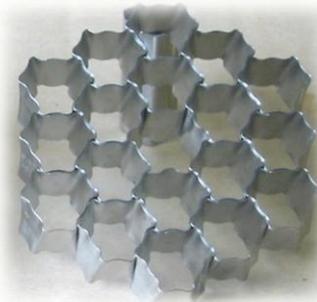
Выравнивание параметров ячеек за счет смещения части теплоносителя из ячейки в ячейку

**КОНСТРУКТИВНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ:**

**без функции
дистанционирования**

**минимальное
гидравлическое
сопротивление**

Турбулизация потока
путем закрутки в
межтвэльной ячейке,
срыв паровой пленки
с поверхности твэлов



Дальнейшая модернизации оборудования для увеличения мощности до 107-110% Nном.

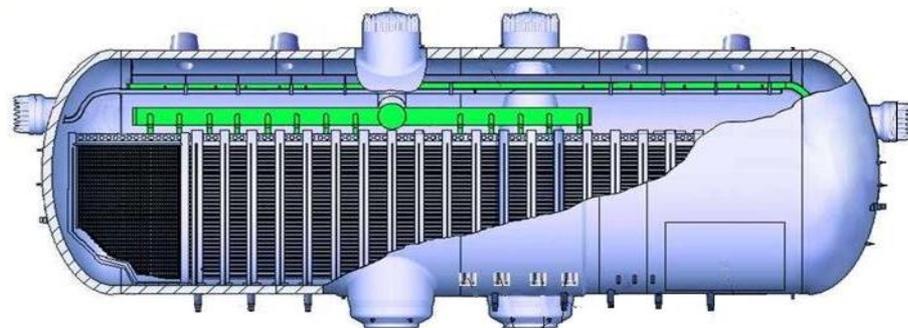
ЦЕЛЬ: увеличение паропроизводительности и сохранение характеристик по влажности пара

модернизация системы сепарации пара

монтаж ПДЛ ПГ с переменной перфорацией

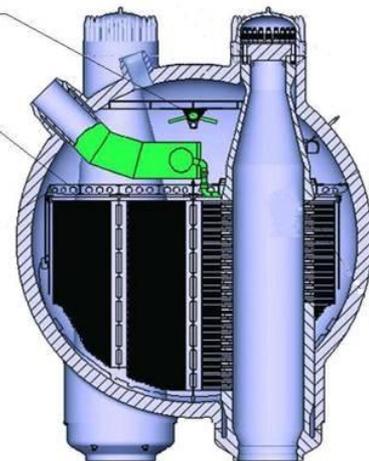
оснащение дополнительной системой измерения теплогидравлических характеристик

Модернизация ПГ



Замена жалюзийного сепаратора дырчатым листом

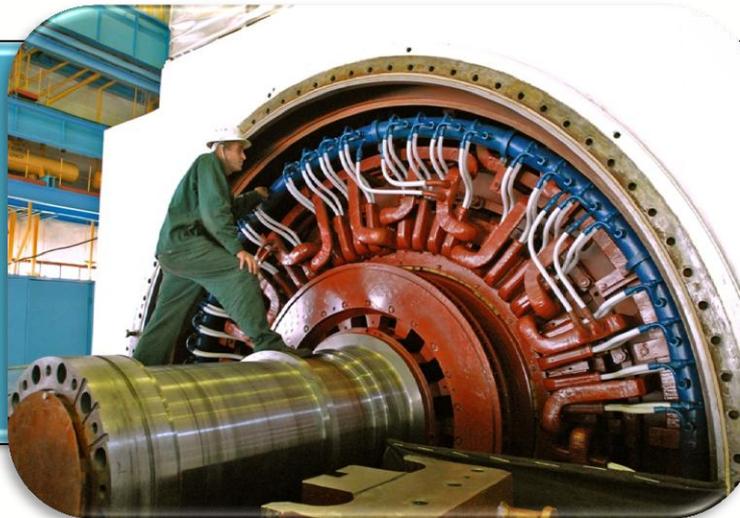
Позужные дырчатые листы



Необходимость модернизации оборудования для увеличения мощности до 107-110% Nном.

Генератор

Возможность
работы в
существующем
исполнении



Модернизация
или замена
генератора при
работе РУ на
мощности 107-
110% Nном.

Обоснование возможности
работы в существующем
исполнении

Выдача технических требований
на модернизацию существующего
или разработку нового
оборудования



Необходимость модернизации оборудования для увеличения мощности до 107-110% $N_{ном}$.



Турбина и оборудование 2-го контура

Обоснована возможность работы в существующем исполнении:

турбоустановки К-1000-60/1500-2

конденсационная установка

система регенерации, включая ПНД и ПВД

питательно-деаэрационная установка, включая ТПН

вспомогательные системы II контура

Выданы технические требования на модернизацию существующего или разработку нового оборудования:

107%

замена I ст. ЦВД под бóльший расход пара

110%

замена 1-7 ст. ЦВД для приема бóльшего расхода пара и рационального распределения теплового перепада по ступеням

модернизация системы парораспределения под бóльший расход пара

дополнительные теплогидравлические и прочностные расчеты обоснования возможности работы СПП-1000



Планы по повышению мощности до 107-110% пилотного блока №4 БалАЭС

1. Актуализация ТЭО работ по повышению мощности РУ до 107-110%Nном
2. Разработка отчета с расчетами радиационных последствий для НЭ, ПА, ЗПА
3. Выпуск обобщенного обоснования безопасности эксплуатации энергоблока
4. Разработка документации «Оценка воздействия на окружающую среду при подъеме и работе на мощности 107-110%Nном»
5. Подготовка документации по обоснованию безопасности и проведение модернизации оборудования
6. Проведение испытаний блока на мощности 107-110% Nном
7. Опытно промышленная эксплуатация
8. Перевод в промышленную эксплуатацию



Выводы

Результаты испытаний и опыт эксплуатации на повышенном уровне мощности подтвердили возможность устойчивой и безопасной работы блоков АЭС с ВВЭР-1000 на уровне мощности 104%.

Показана принципиальная возможность поэтапного повышения мощности блоков АЭС с ВВЭР-1000 до уровня 107-110% от номинального (пилотный блок №4 Балаковской АЭС).

По результатам ОПЭ пилотного блока будет приниматься решение о распространении данного опыта на другие действующие блоки АЭС с ВВЭР-1000.





РОСЭНЕРГОАТОМ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИВИЗИОН РОСАТОМА

Спасибо за внимание!

www.rosenergoatom.ru