



**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](http://www.rosenergoatom.ru)

# История вопроса

1

**Дефицит  
электроэнергии**

2

**Экономическая  
выгода**

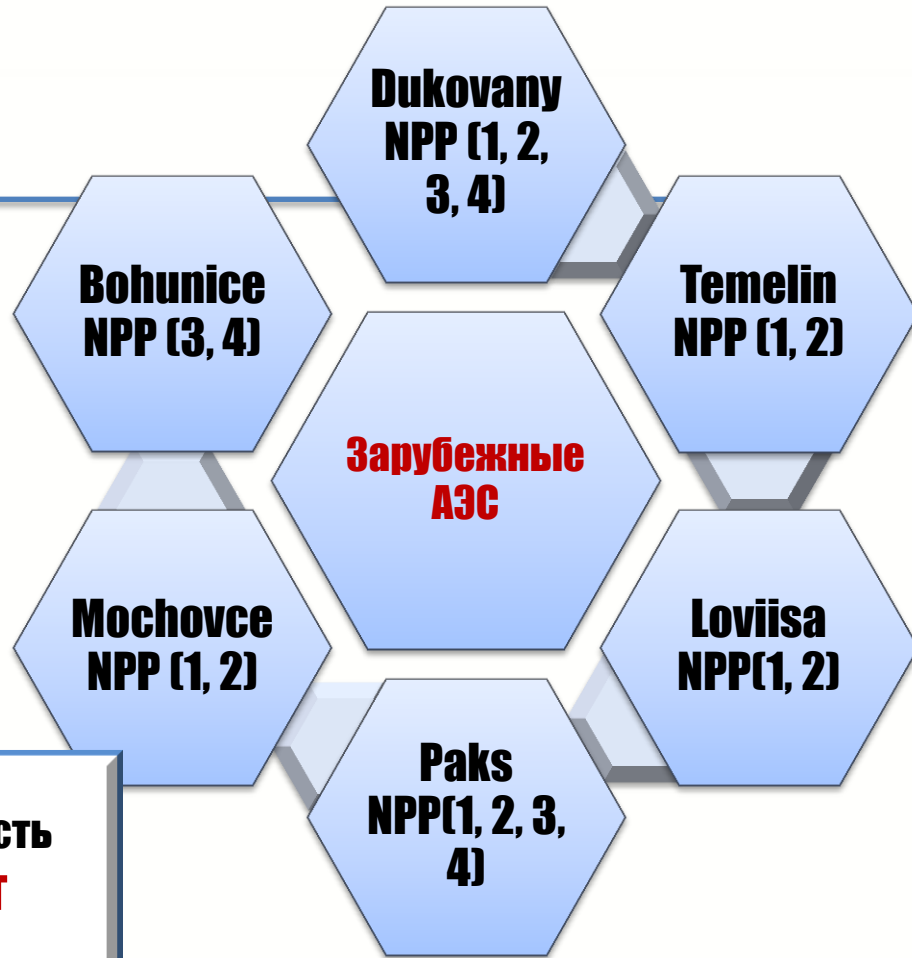
Стоимость  
**1 кВт**  
при  
сооружении  
новых  
генерирующих  
мощностей

≈ 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**



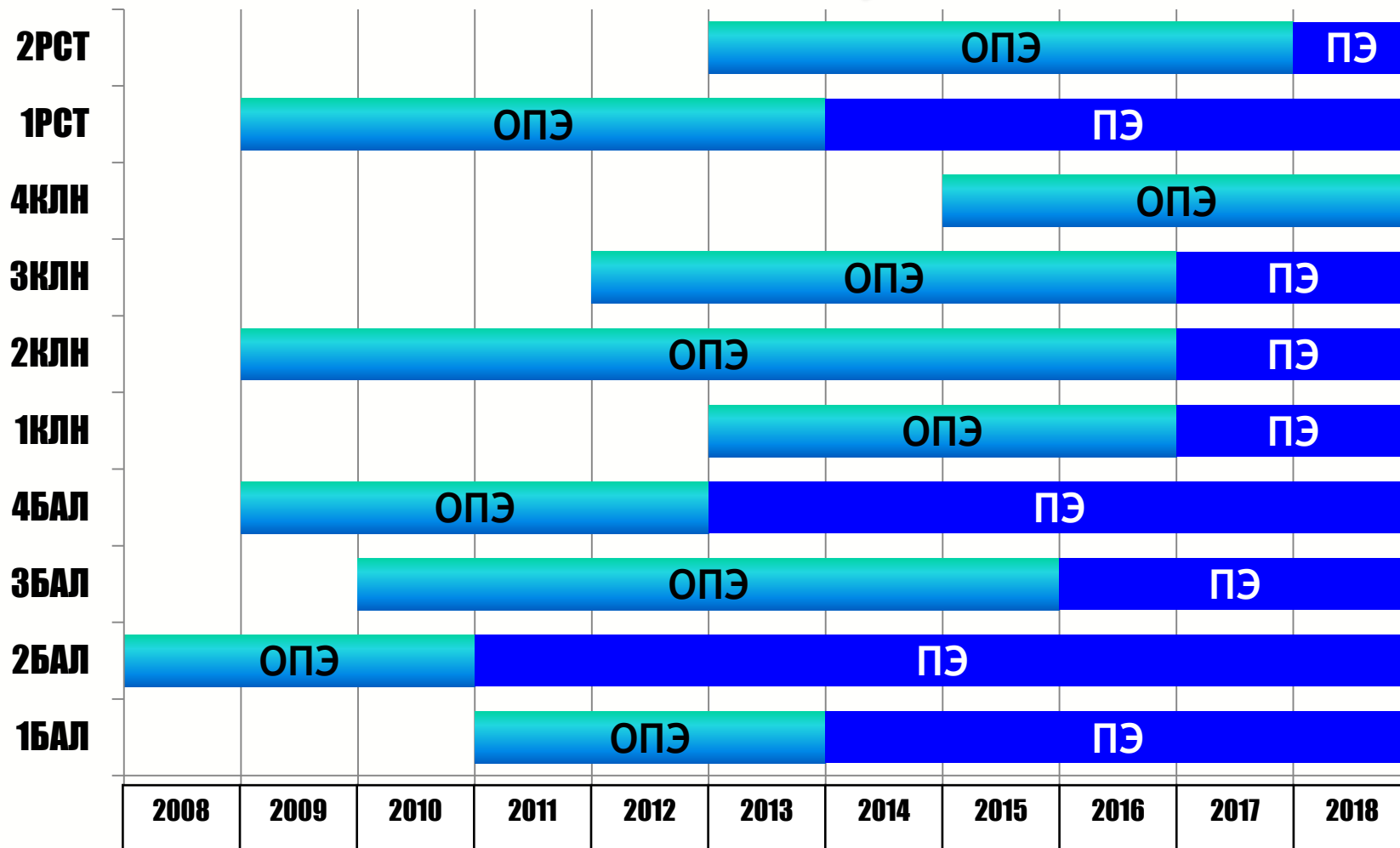
**100%Нуст.**

**10 блоков ВВЭР-1000**

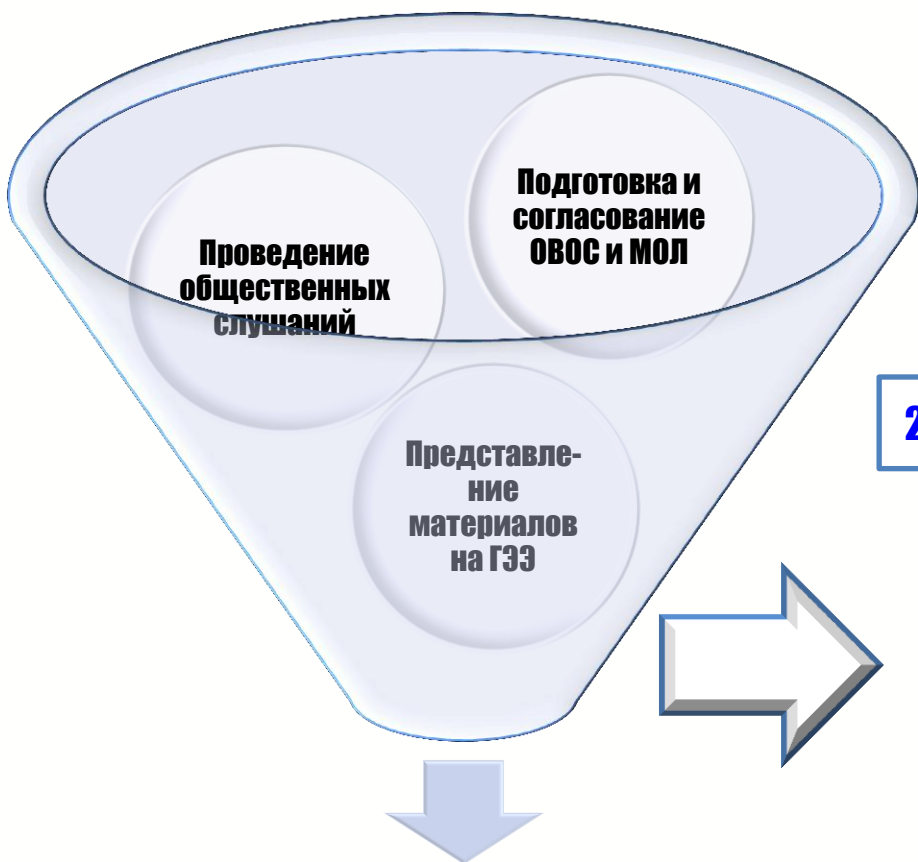


# График перевода энергоблоков ВВЭР-1000 на работу с повышенной мощностью 104%Nном.

36 реактор-лет



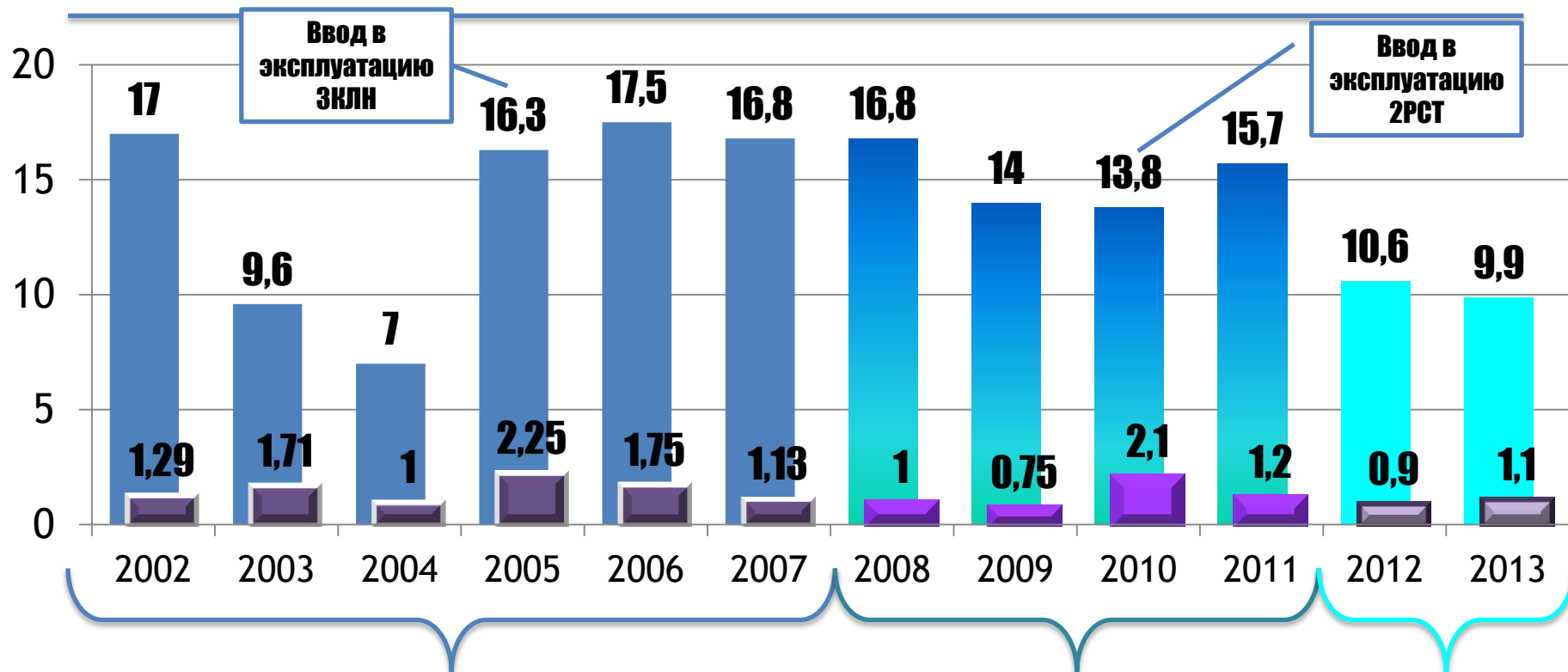
# Государственная экологическая экспертиза материалов обоснований лицензий на повышение мощности энергоблоков АЭС



**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  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  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
<b>Теплогидравлические характеристики</b>		
<b>Тепловая мощность реактора (с учётом точности поддержания системой регулирования), МВт</b>	<b>3115-3120</b>	<b>3120</b>
<b>Подогрев теплоносителя в реакторе, °С</b>	<b>29,7-32,5</b>	<b>33,5</b>
<b>Максимальный подогрев теплоносителя в петле/максимальная мощность петли реактора, °С /МВт</b>	<b>30,0-32,4/ 758-797</b>	<b>33,0/800</b>
<b>Максимальный подогрев теплоносителя на ТВС по показаниям СВРК, °С</b>	<b>39,4-43,0</b>	<b>44,5</b>
<b>Температура теплоносителя на входе в реактор в любой из работающих петель, °С</b>	<b>287-290,3</b>	<b>291</b>
<b>Нейтронно-физические характеристики</b>		
<b>Максимальная мощность ТВС по показаниям СВРК, МВт</b>	<b>23,8 – 26,0</b>	<b>27</b>
<b>Коэффициент неравномерности энерговыделения ТВС по показаниям СВРК</b>	<b>1,24-1,40</b>	<b>-</b>
<b>Минимальный запас по неравномерности энерговыделения по объёму активной зоны по показаниям СВРК</b>	<b>1,05</b>	<b>Не менее 1</b>

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



# Значения параметров ТГ и возбуждителя

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

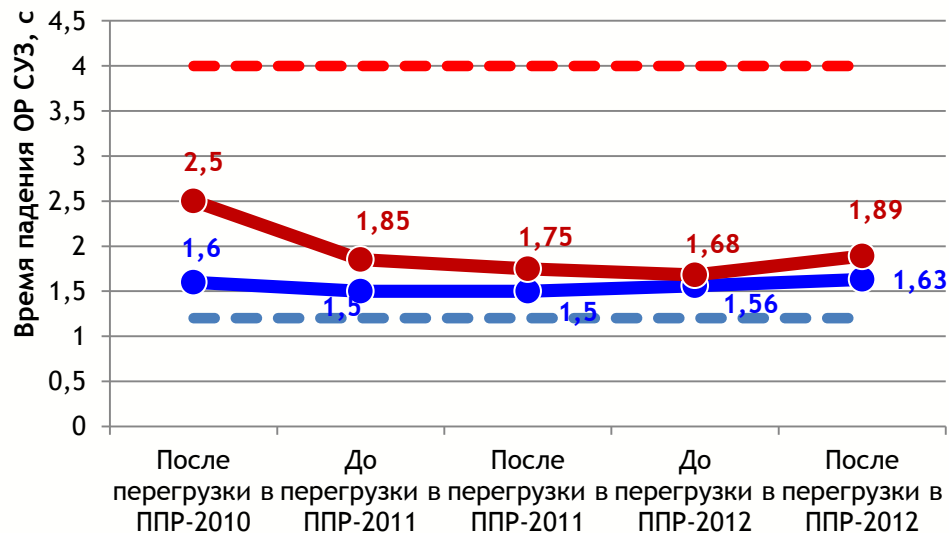


# Результаты эксплуатации при работе на повышенной мощности (на примере Балаковской АЭС)

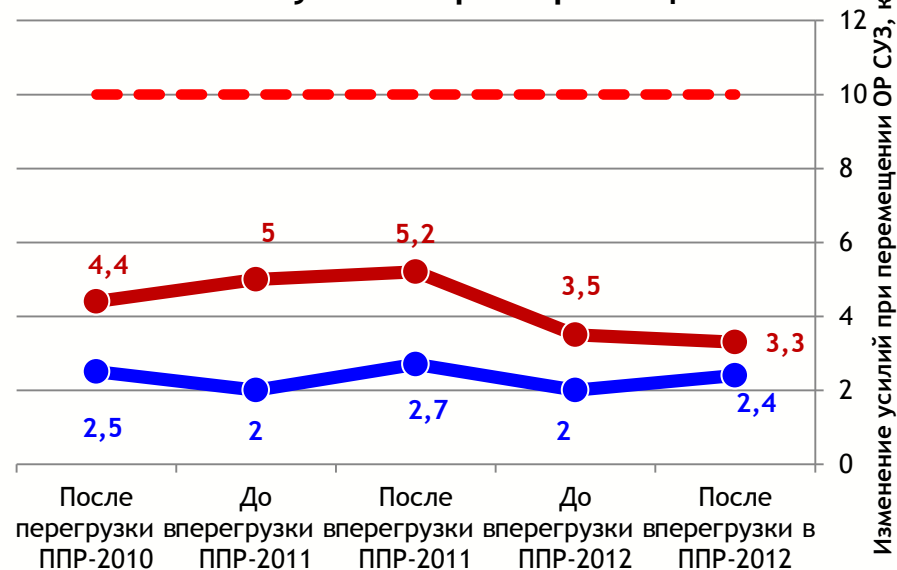
Проверки проходимости ОР СУЗ показали:

- 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



Максимальные и средние значения изменения усилий при перемещении ОР



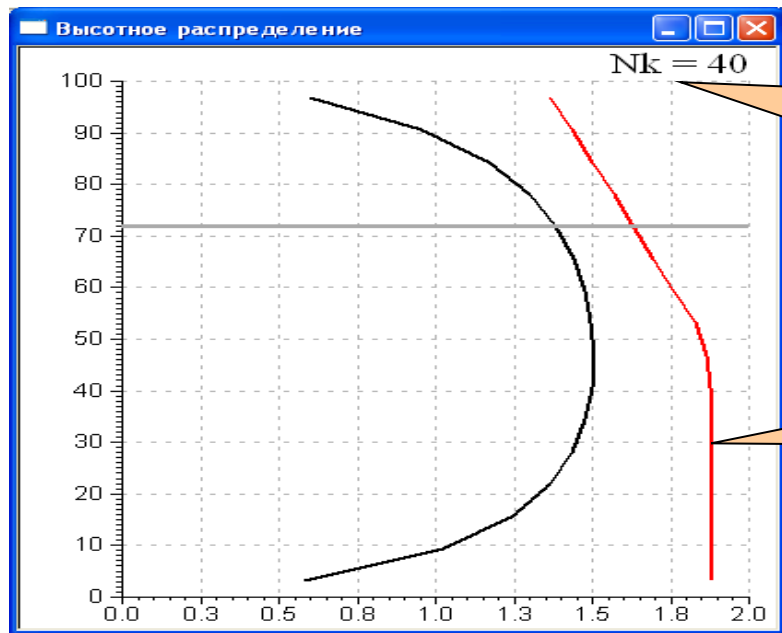
— min доп.    ●— Min    ●— Max    - - - max доп.

●— 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



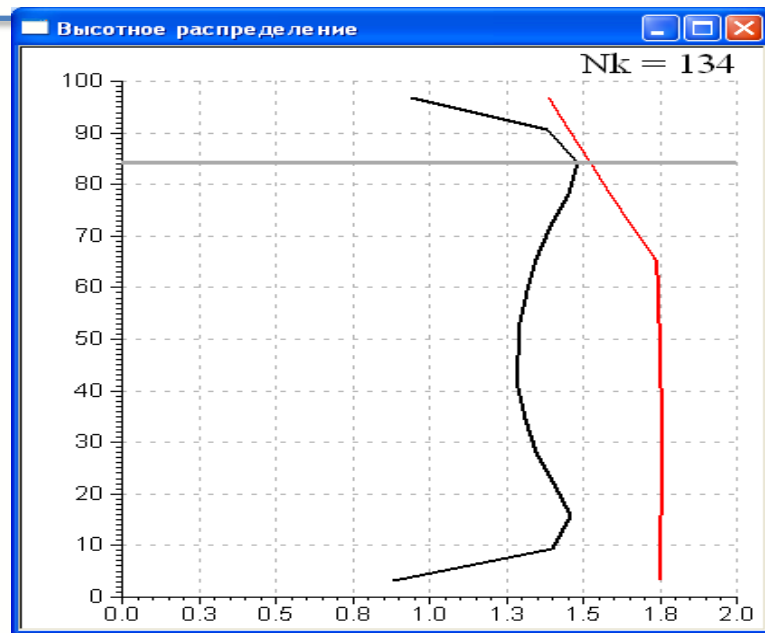
# Ограничения по энерговыделению в активной зоне



**N** ячейки активной зоны

**Кудоп**

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).



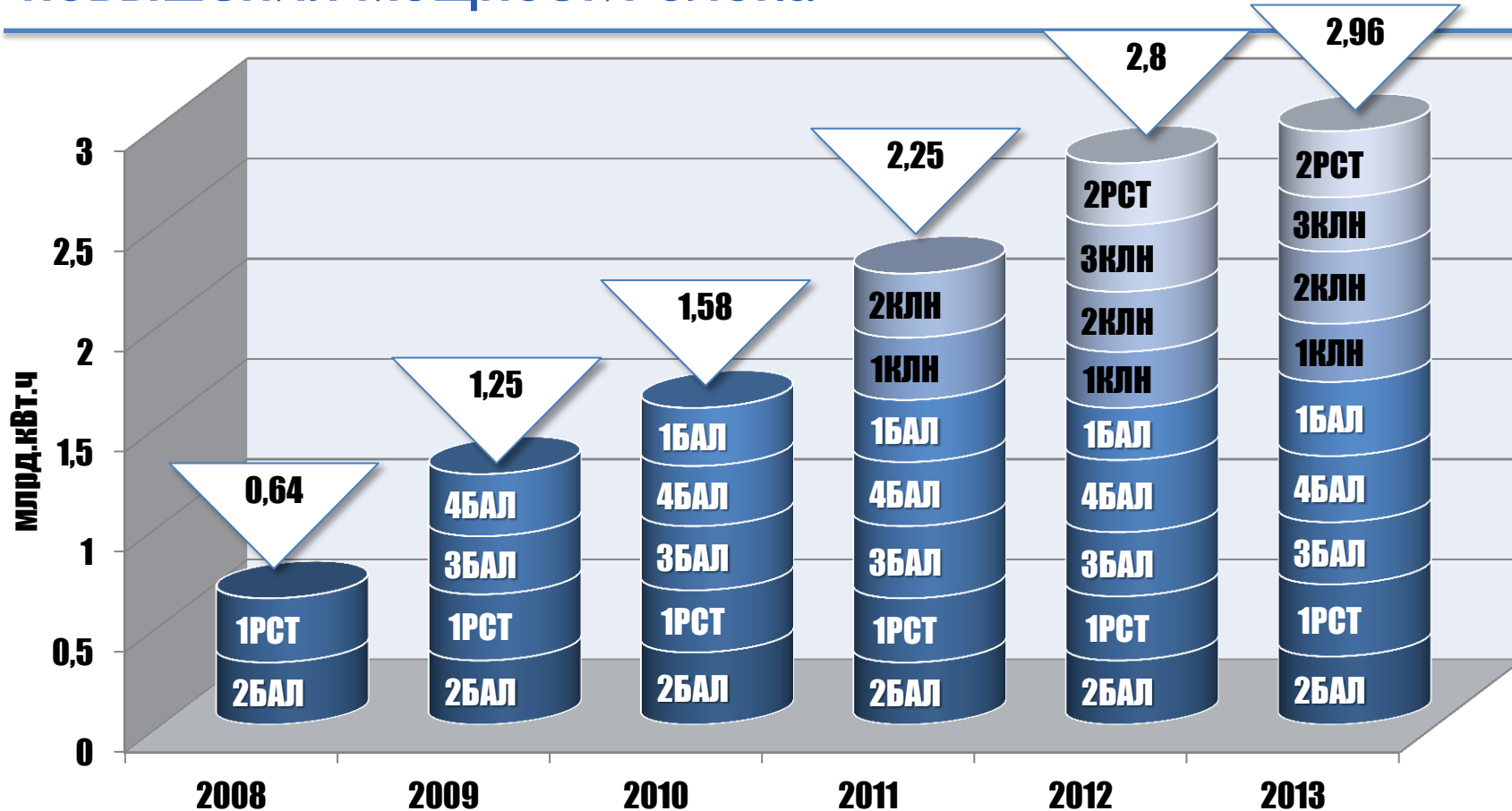
# Результаты эксплуатации энергоблоков при работе на повышенной мощности. Выводы

---

- ➔ 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 возбuditеля (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 возбuditеля.



# 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**



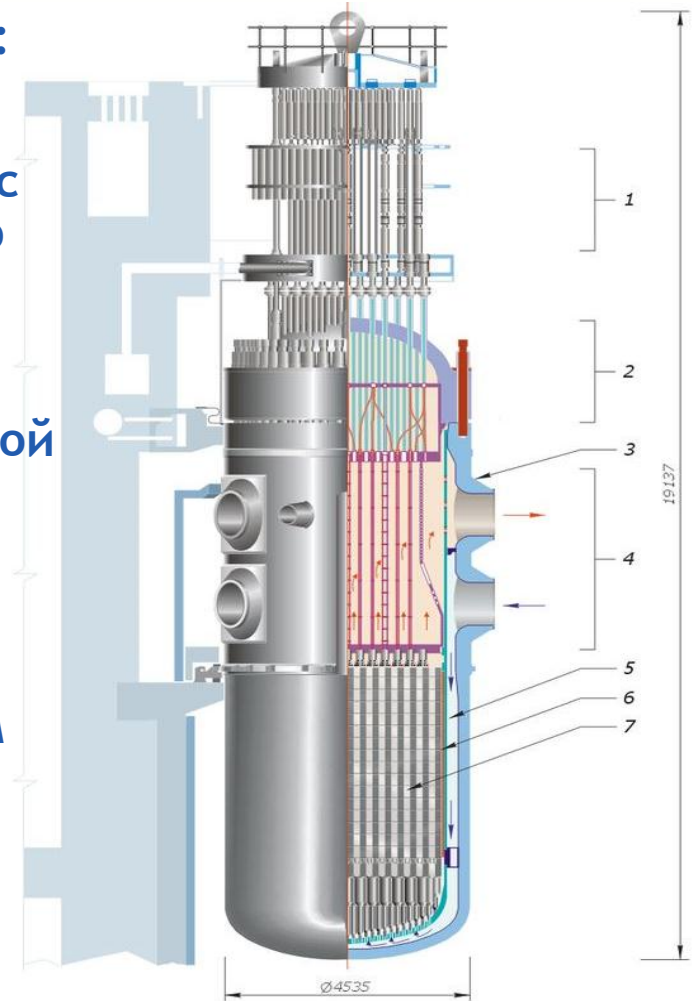
# Реакторная установка

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**



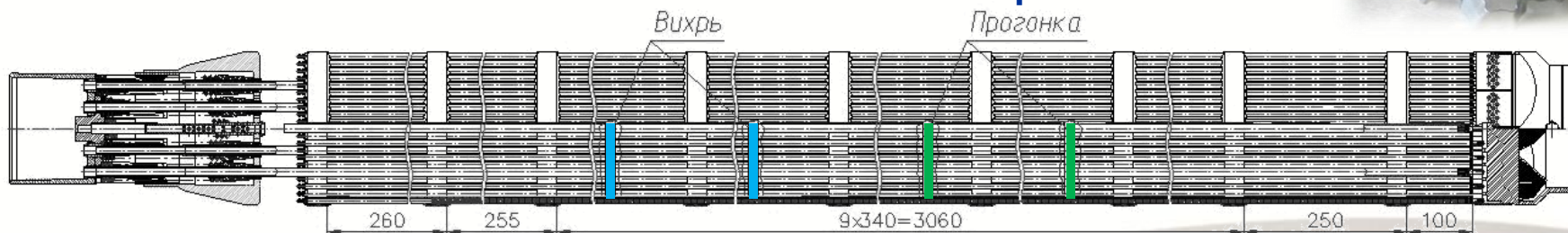
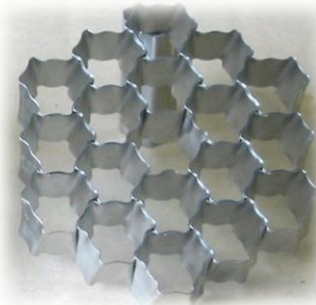
Выравнивание параметров ячеек за счет смещения части теплоносителя из ячейки в ячейку

**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.

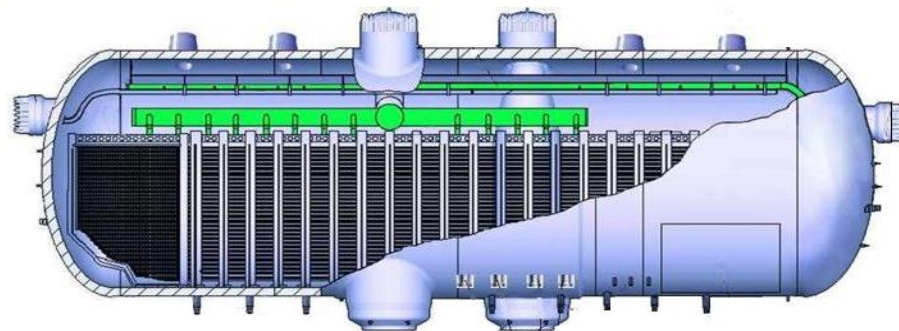
**ЦЕЛЬ:** увеличение паропроизводительности и сохранение характеристик по влажности пара

модернизация системы сепарации пара

монтаж ПДЛ ПГ с переменной перфорацией

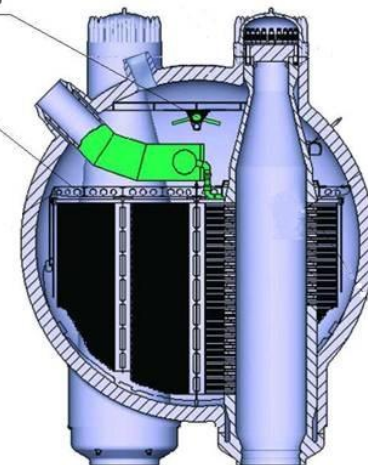
оснащение дополнительной системой измерения теплогидравлических характеристик

## Модернизация ПГ



Замена жалюзийного сепаратора дырчатым листом

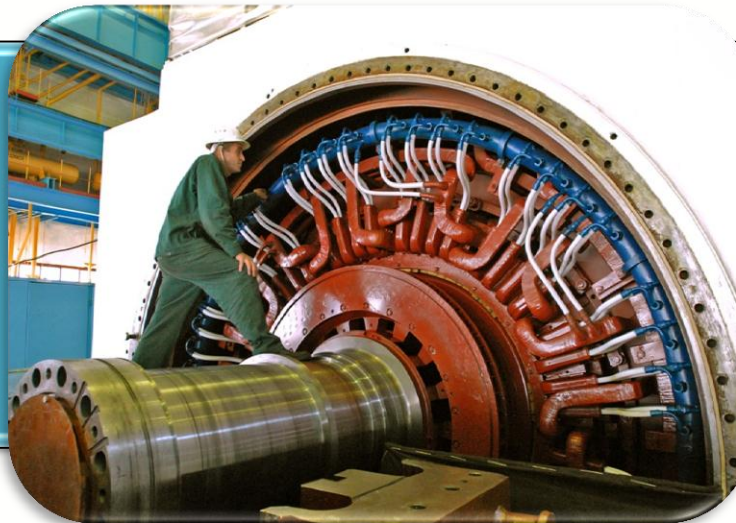
Позужные дырчатые листы



# 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](http://www.rosenergoatom.ru)