

Седьмая Международная научно-техническая конференция «**Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики**» МНТК-2010



Москва, 26-27 мая 2010 года
ОАО «Концерн
Росэнергоатом»

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ
АППАРАТОВ II КОНТУРА АЭС**

Авдеев А.А.
Генеральный директор, д.т.н.



Открытое акционерное общество
«**Всероссийский научно-исследовательский и проектно-
конструкторский институт атомного энергетического
машиностроения**» ОАО «**ВНИИАМ**»

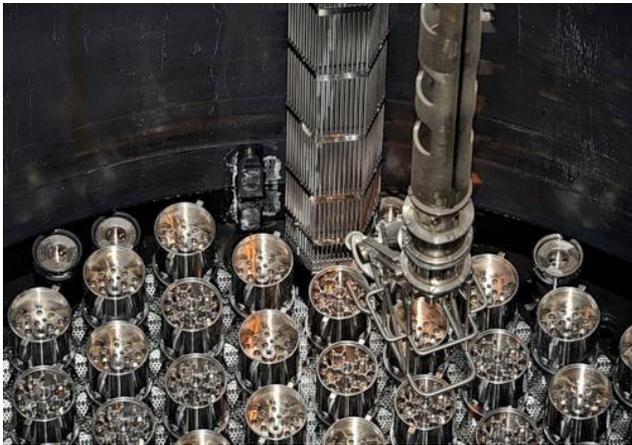


Коэффициент полезного действия

Реакторный остров

$$\eta > 98\%$$

Почти все выделившееся в АЗ тепло подается во II контур



Турбинный остров

$$\eta \approx 33 \div 36\%$$

Только третья часть тепла преобразуется в электроэнергию



Центр тяжести технических проблем на сегодняшний день – в машзале.



Оценка экономики

На сколько дороже может быть турбоустановка с увеличенным на 1% КПД?

Блок 1200 МВт; КПД $\eta_{э} = 36\%$  $\eta_{э} = 37\%$
Дополнительная выработка 33,3 МВт

Капитальные затраты на выработку этой мощности

$3000 \text{ €/кВт} * 33,3 \text{ МВт} = 100 \text{ млн.€}$

Неучтены «мелочи»: экономия топлива, удельные эксплуатационные расходы и т.д.

Справка: стоимость турбины 1000 МВт (Харьков) – около 80 млн. €
стоимость турбины 1200 МВт (СПб) – около 100 млн. €

За турбину с увеличенным на 1% КПД выгодно заплатить в два раза дороже.

КПД турбоустановки определяется всей наборкой оборудования машзала.



Влияние параметров турбоагрегата К-1000-60/1500 на недовыработку электроэнергии

| № п/п | Наименование параметра | Номинальное (расчетное) значение | Отклонение | Потеря мощности, МВт |
|--------|---|----------------------------------|-------------|----------------------|
| 1. | Степень сухости свежего пара, % | 99,5 | -0,5 | -3,5 |
| 2. | Давление отработавшего пара кгс/см ² , (кПа) | 0,05 (5,0) | +0,01 (1,0) | -11,5 |
| 3. | Потери давления в паровпускных органах (СРК), % | 3÷4 | +1,0 | -1,5÷-2,0 |
| 4. | Потери давления в тракте промперегрева (СПП), % | 7,0 | +1,0 | -2,0 |
| 5. | Недогрев пара, в I-ой и II-ой ступенях СПП, °С | ~25,0 | +5,0 | -0,5÷-1,0 |
| 6. | Конечная температура питательной воды, °С | 220,0 | -5,0 | -3,0 |
| Итого: | | | | 23 МВт |



Оптимизация параметров

Для оптимизации параметров турбоустановки необходимы:

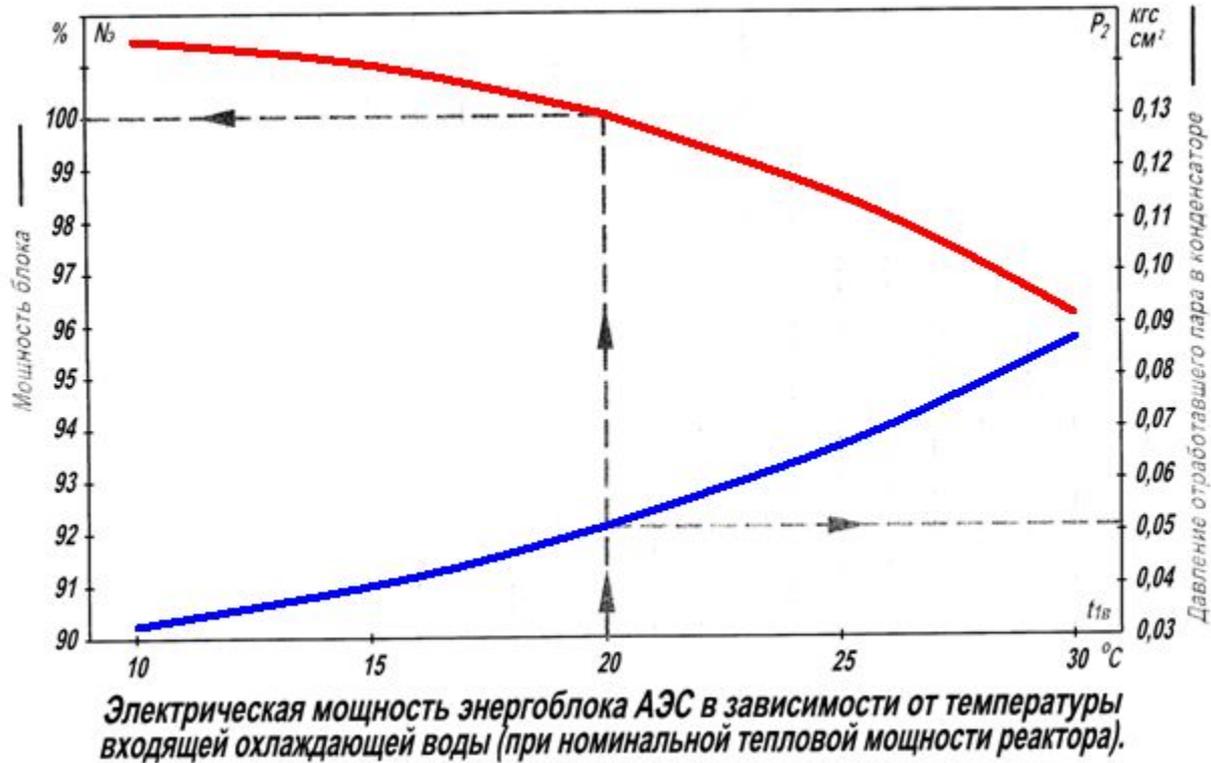
- **балансовые испытания энергоблока в диапазоне нагрузок 75-100% от номинальной мощности;**
- **тепловые испытания конденсатора с построением зависимости вакуума от расхода и температуры охлаждающей воды;**
- **экспериментальные поправки мощности турбины при изменении давления отработавшего пара в конденсаторе.**

Тепловые балансовые испытания проводятся по I категории сложности с организацией дополнительных врезов и применения современного парка приборов высокой точности.



Результаты испытаний

1. Нормирование



2. Выявление и устранение потерь

3. Оценка результатов модернизации



Испытания турбоагрегатов (энергоблоков) АЭС

| АЭС №№ энергоблока | Турбина | | Год проведения испытания, исполнитель |
|------------------------------|----------------|------------------------|---|
| | Тип | Завод- изготовитель | |
| ЛАЭС, блок № 1 | К-500-60/3000 | Турбоатом | 1976 г.; ОРГРЭС, Уральское отделение |
| ЧАЭС, блок № 1 | К-500-60/3000 | Турбоатом | 1980 г.; ОРГРЭС, Южное отделение |
| Калининская АЭС, блок № 1 | К-1000-60/1500 | Турбоатом | 1985 г.; ОРГРЭС, Москва |
| Калининская АЭС, блок № 2 | К-1000-60/1500 | Турбоатом | 1986 г.; ОРГРЭС, Москва |

**Турбина К-1000-60/1500-2 (Турбоатом, с подвальными конденсаторами)
Балаковская АЭС (блоки № 1÷4), Ростовская АЭС (блоки № 1, 2).
Ни на одном из энергоблоков тепловые испытания не проводились.**



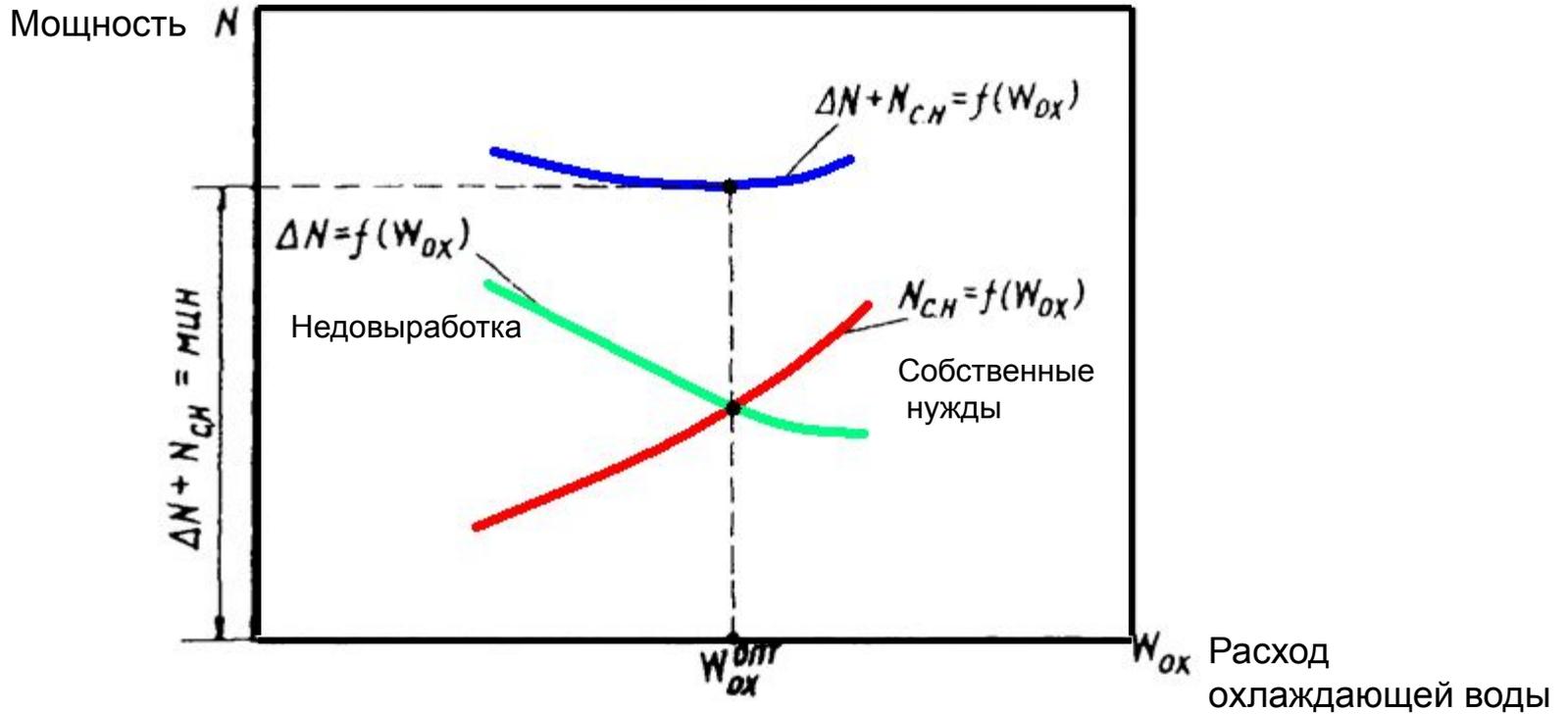
Влияние вакуума на выработку электроэнергии

| Положительный эффект | Отрицательный эффект |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• увеличение располагаемого теплоперепада | <ul style="list-style-type: none">• снижение паропроизводительности за счет захлаживания конденсата;• увеличение потерь с выходной скоростью;• снижение η_{oi} последних ступеней;• рост отбора пара в ПНД |



Экономичный вакуум

Определение оптимального расхода охлаждающей воды



Расход электроэнергии на циркуляционные насосы

$$N_{ц} \approx 70 \div 80 * N_{с.н}$$
$$N_{ц} \sim W_{ох}^3$$



Внутриресиверный сепаратор Powersep (BALCKE DURR)

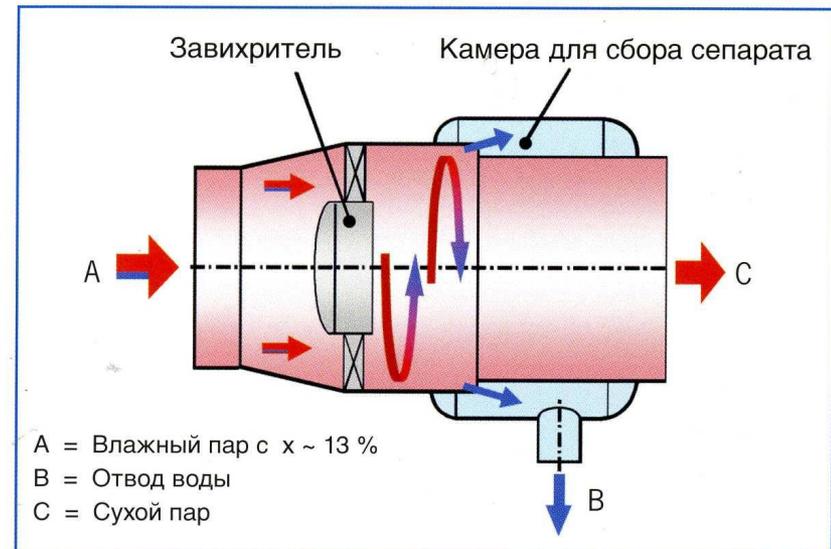
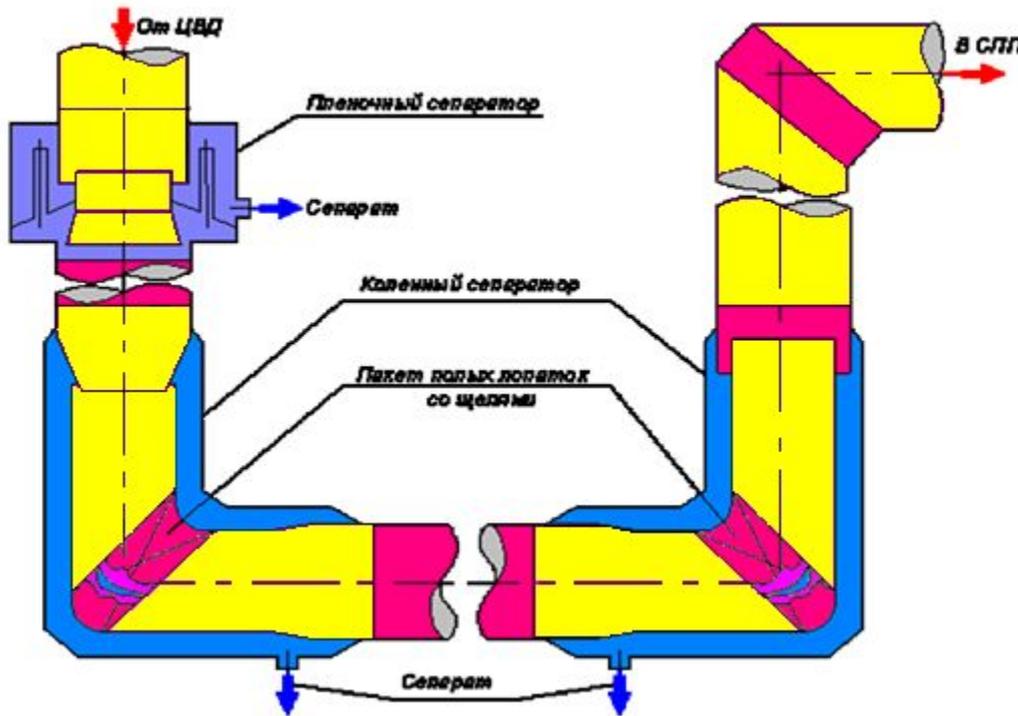


Схема работы Powersep

Система внутрисиверной сепарации



Состоит из последовательно установленных по ходу пара в ресиверах турбоустановки пленочного и двух коленных сепараторов,

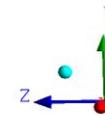
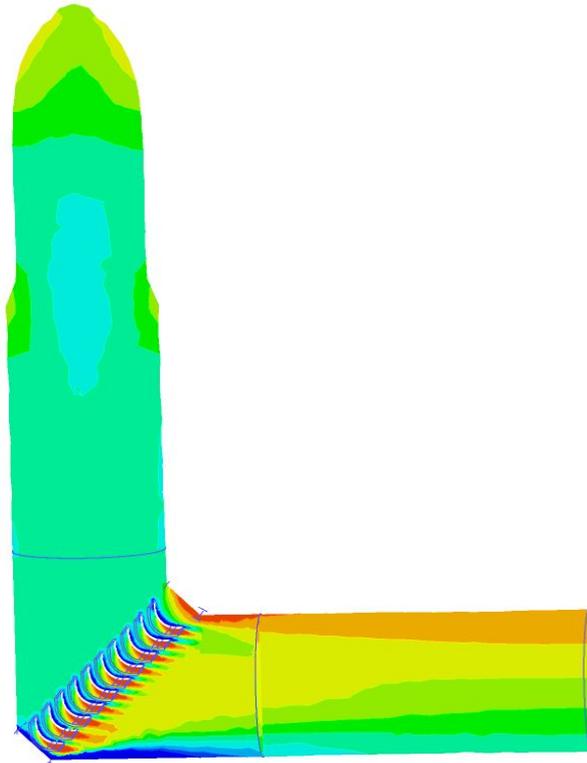
- расход сепарата – 102 м³/час
- эффективность сепарации - 83%
- осушает влажный пар до 2 %
- Увеличивает перегрев на 8-10 К

Система внутрисиверной сепарации пара разработки ОАО «ВНИИАМ» эксплуатируется на Кольской АЭС с начала 1990-х годов и предназначена для предварительной осушки влажного пара, поступающего из цилиндра высокого давления (ЦВД) в сепаратор-пароперегреватель (СПП)



Ресивер турбины К-220 Кольской АЭС с лопатками

ANSYS





Спасибо за внимание

Наши координаты:

125171, Москва, ул. Космонавта Волкова, 6А

Телефон: +7 (499)150-83-35; +7 (499)150-83-36

Факс: +7 (499)159-94-74

www.vniam.ru

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения» (ОАО «ВНИИАМ»)