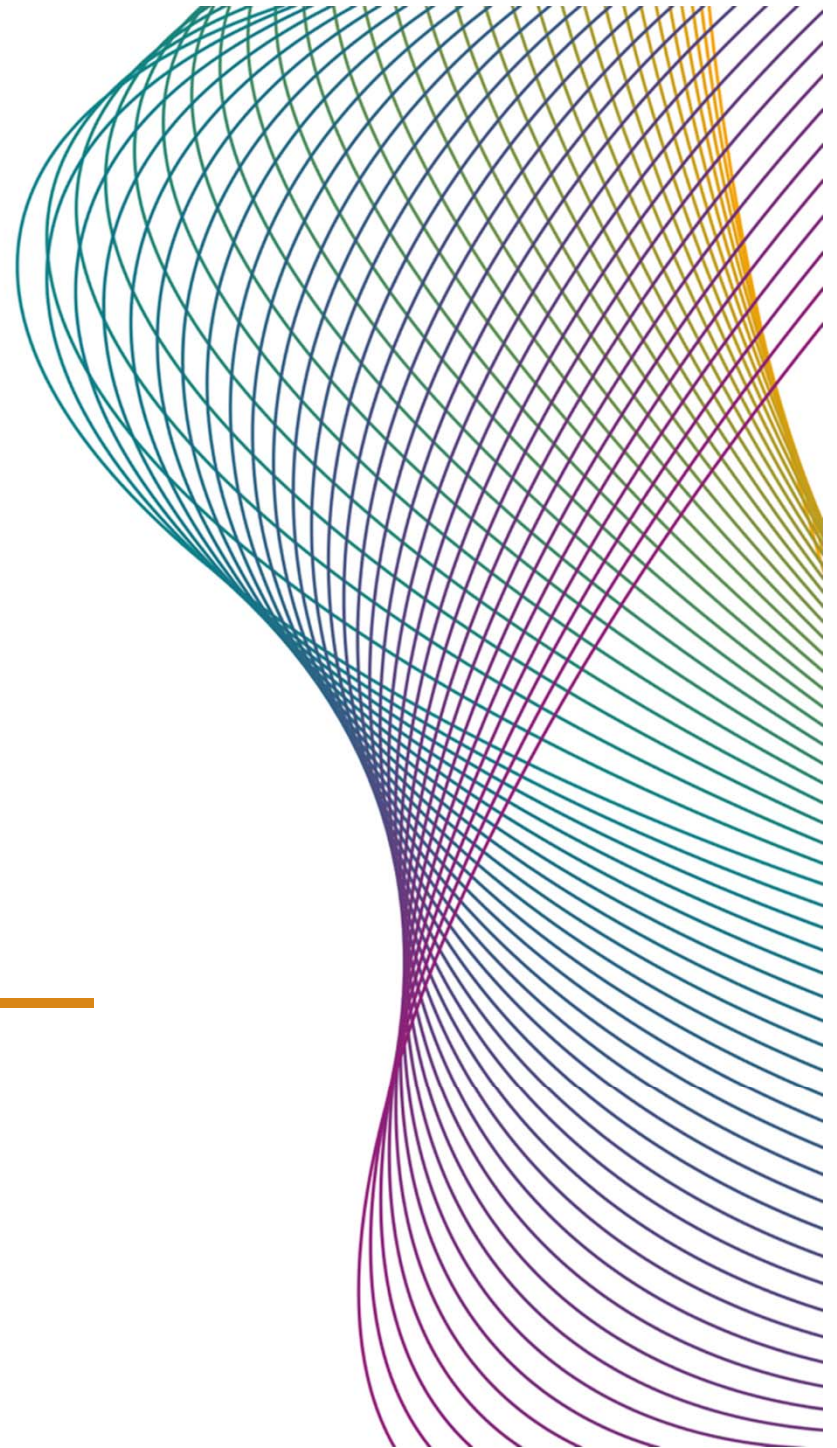


Выбор перспективных путей совершенствования тепловых схем паротурбинных установок АЭС

Егоров Михаил Юрьевич





Содержание

1. Направления разработок паровых турбин АЭС

- Развитие атомной энергетики и основные задачи паротурбиностроения для АЭС
- Оптимизация тепловых схем турбоустановок АЭС
- Сравнительный анализ технико-экономических показателей и конструкций быстроходных и тихоходных турбин большой мощности

2. Совершенствование тепловой схемы турбоустановки К-1000-60/3000

- Решения, принятые в тепловой схеме турбоустановки К-1000-60/3000 с четырьмя ЦНД
- Оптимизация схемы регенерации турбоустановки К-1000-60/3000 для АЭС «Тяньвань» (Китай)
- Сопоставление вариантов тепловой схемы турбоустановки с различными схемами слива конденсата греющего пара СПП в систему регенерации
- Пути совершенствования тепловой схемы турбоустановки К-1000-60/3000 и увеличения ее электрической мощности

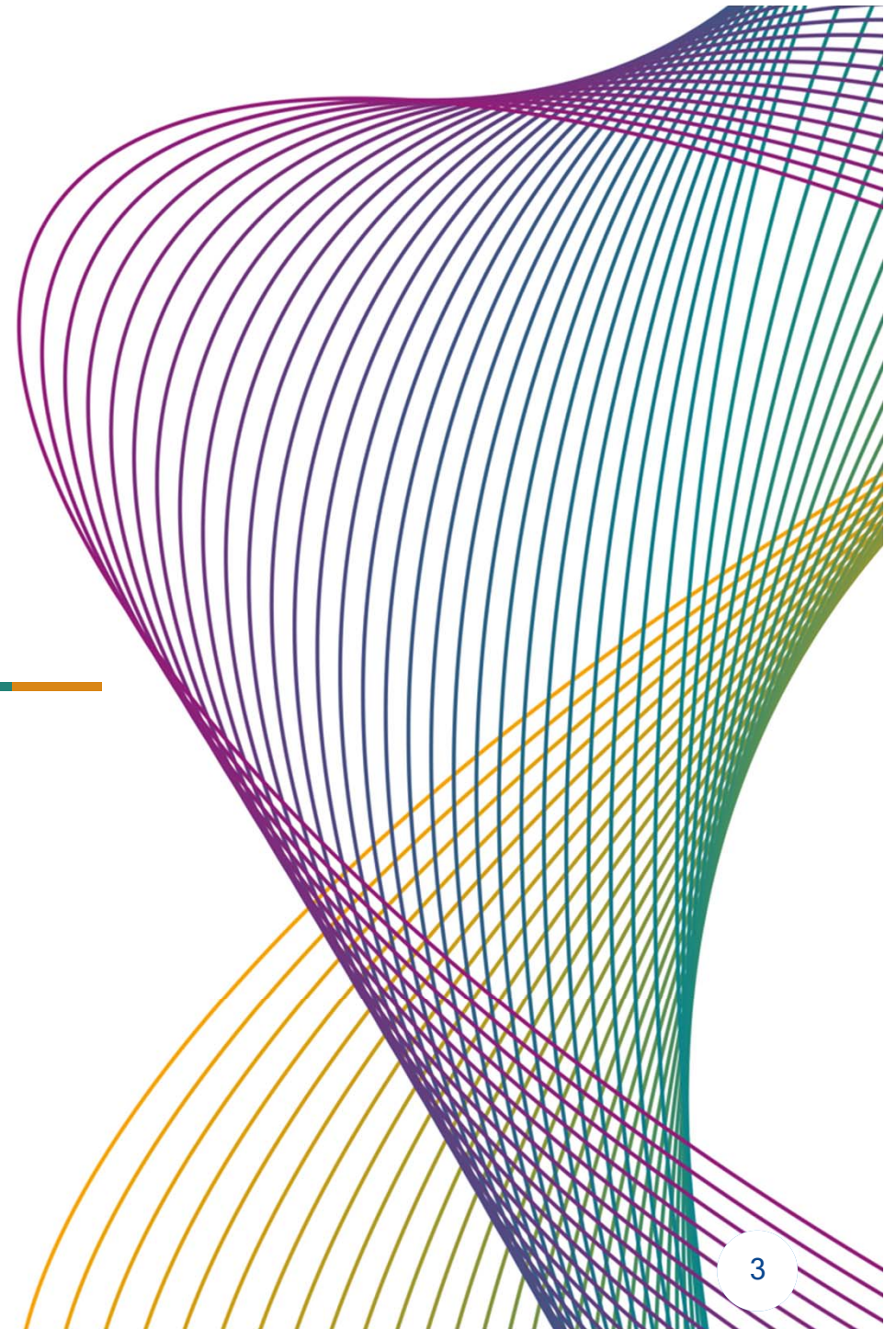
3. Совершенствование тепловых схем турбоустановок с высоконагруженными последними ступенями ЦНД, а также тепловой схемы паровых турбин типа К-1200-6,8/50

- Оптимизация тепловых схем турбоустановок типа К-1000-60/3000-3 и К-1000-60/3000-2 с высоконагруженными последними ступенями ЦНД
- Оптимизация схемы регенерации турбоустановки К-1000-60/3000-3 для АЭС «Бушер»
- Оптимизация тепловой схемы для турбоустановки типа К-1200-6,8/50
- Совершенствование тепловой схемы системы промежуточной сепарации и перегрева пара турбины К-1200-6,8/50

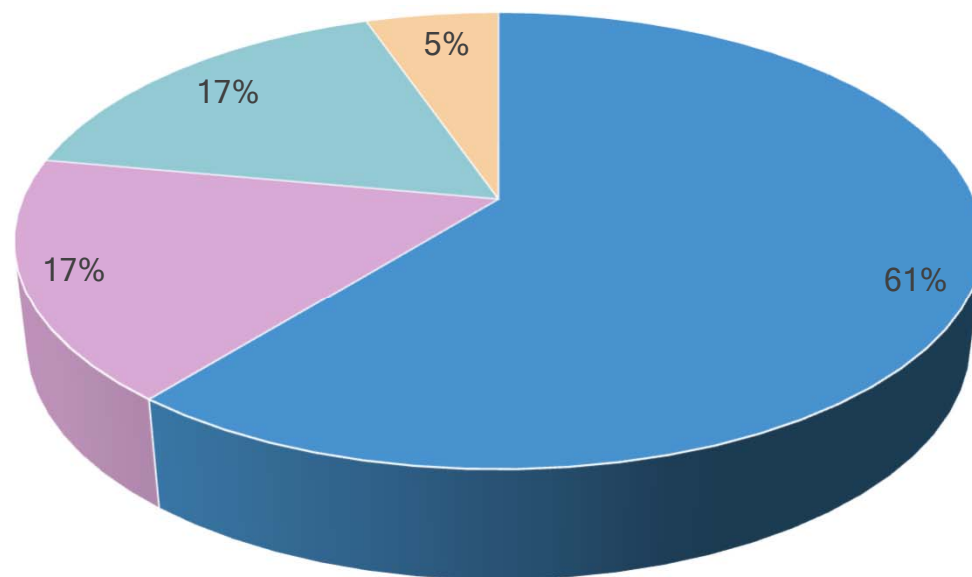
1

Раздел

Направления разработок паровых турбин АЭС

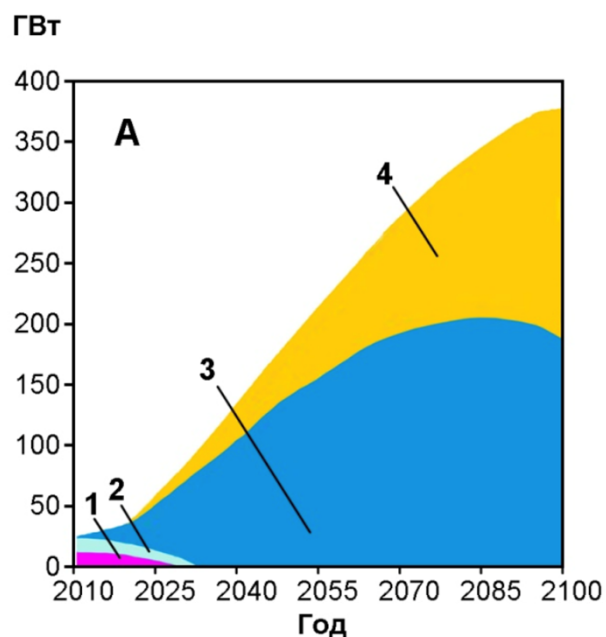


Структура выработки электроэнергии по типам электростанций ЕЭС России

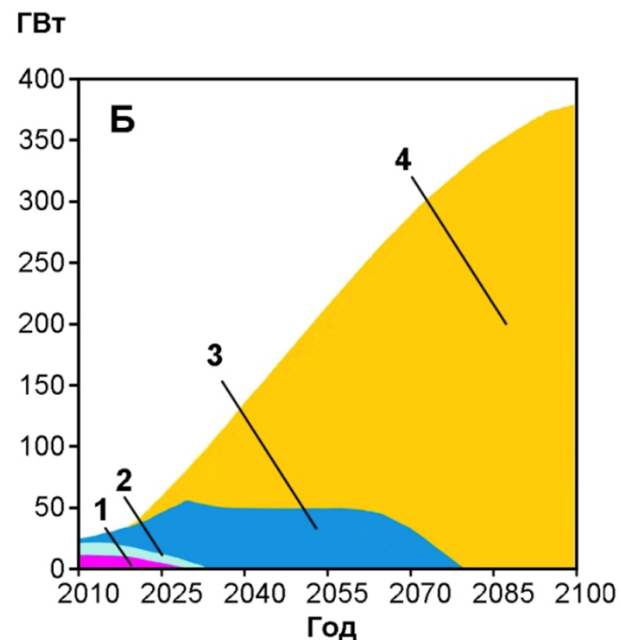


■ ТЭС ■ ГЭС ■ АЭС ■ Эл.ст.пром.пред.

Прогноз увеличения установленной мощности АЭС в России в 21 веке



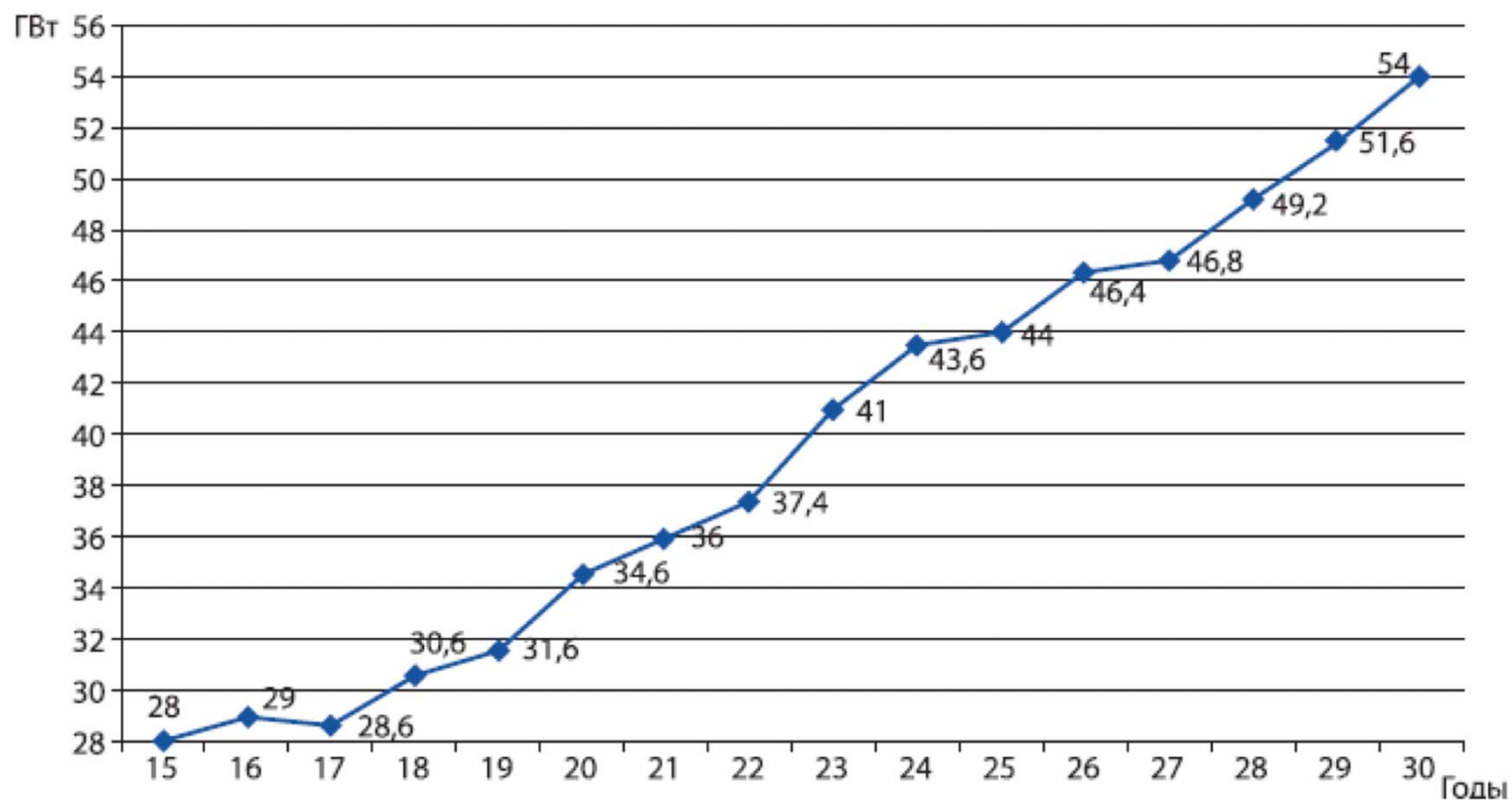
с вводом тепловых и быстрых реакторов




С вводом только быстрых реакторов после 2030г.

1- РБМК; 2 - ВВЭР-II; 3 - ВВЭР-III+; 4 - быстрые реакторы

Динамика роста установленной мощности АЭС в России



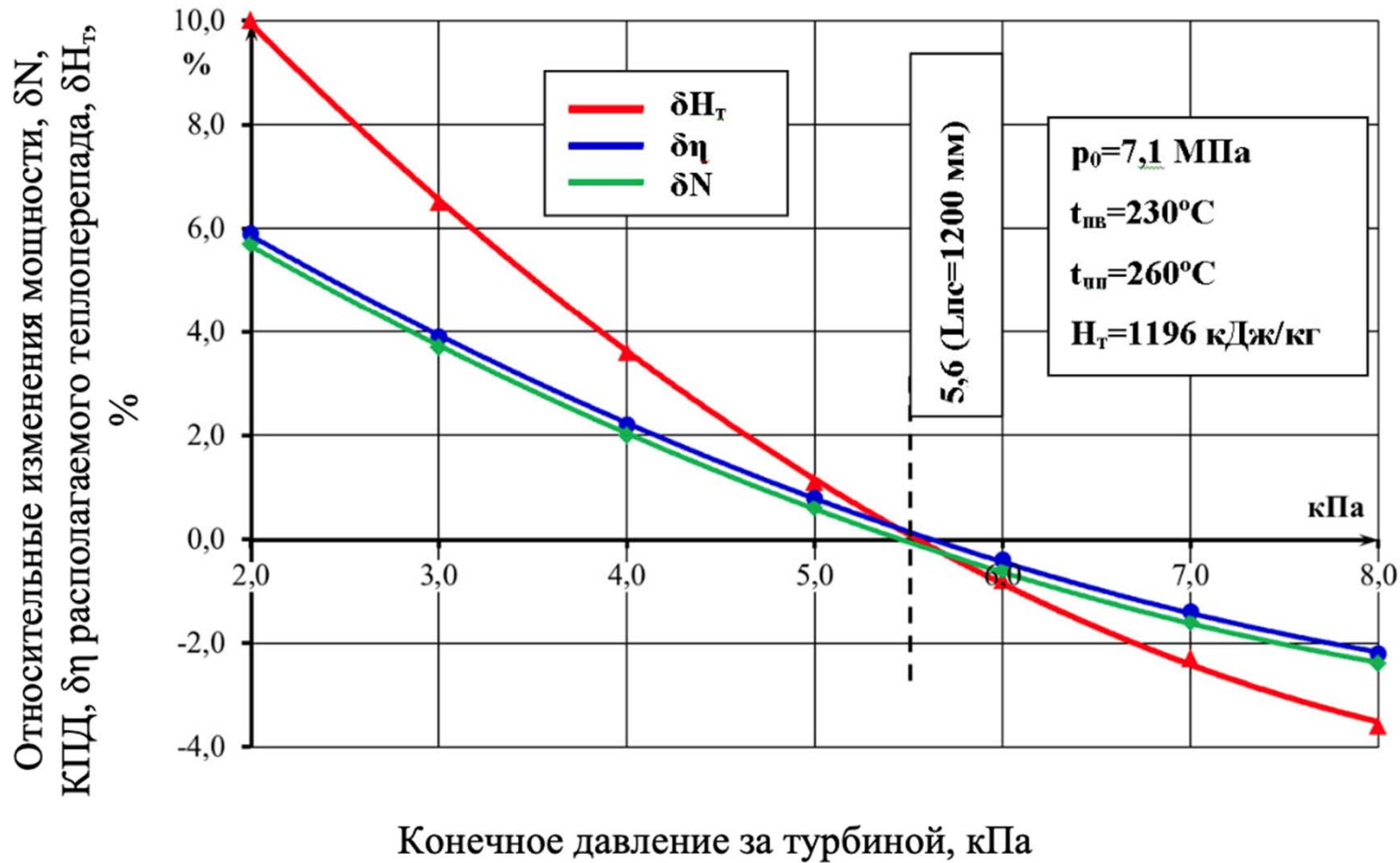


Оптимизация тепловых схем турбоустановок АЭС

При оптимизации термодинамического цикла и тепловой схемы турбоустановки, обеспечивающих высокую экономичность и конкурентоспособность турбоустановки, следует предусмотреть разработку:

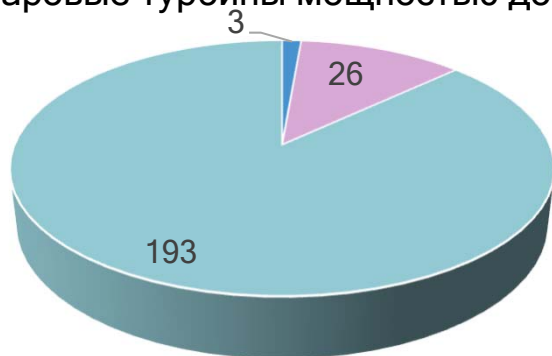
- развитой системы регенерации (7-8 ступеней подогрева), включая применение смешивающего ПНД-2;
- эффективного, гидравлически плотного конденсатора, секционированного по давлению;
- системы промежуточных сепарации и двухступенчатого перегрева пара с оптимальными теплогидравлическими характеристиками СПП;
- системы закачки конденсата греющего пара СПП в тракт питательной воды;
- тепловых схем новых турбоустановок мощностью 1200 - 1250 МВт, с применением технических решений, использованных в турбоустановках мощностью 1000 МВт на действующих АЭС;
- тепловых схем новых турбоустановок с учетом проектных ограничений по структуре и компоновке турбоустановки в целом.

Влияние конечного давления за турбиной на мощность и КПД турбины

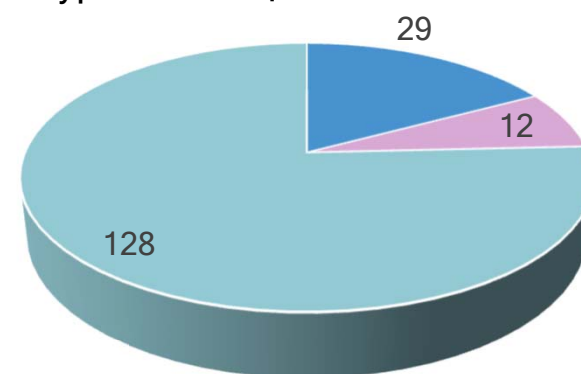


Соотношение количества установленных в мире тихоходных и быстроходных паровых турбин АЭС

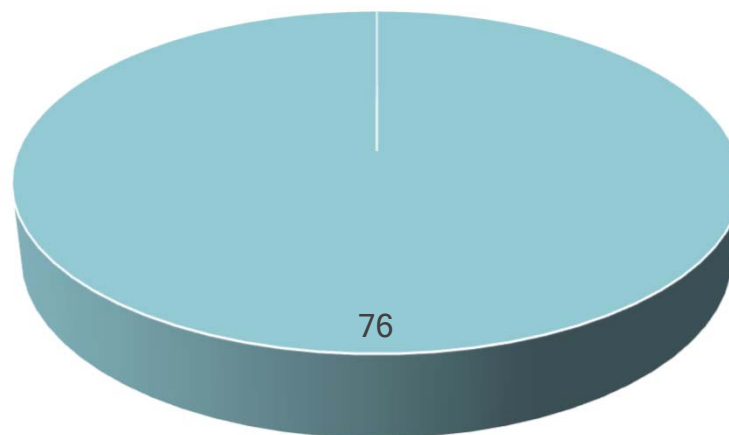
Паровые турбины мощностью до 900 МВт



Паровые турбины мощностью 900-1200 МВт



Паровые турбины мощностью свыше 1200 МВт

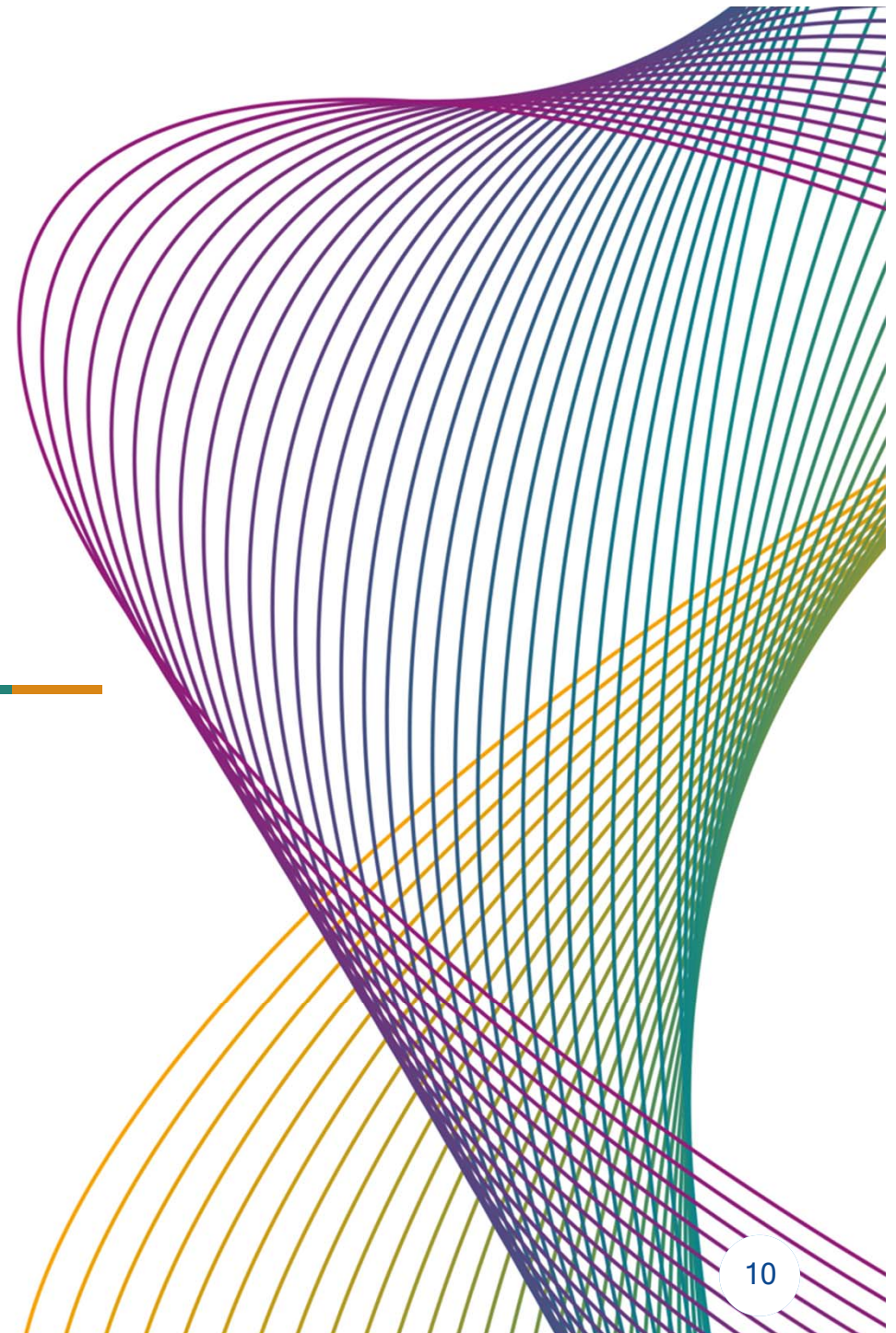


- Быстроходные паровые турбины производства ОАО "Силловые машины"
- Быстроходные паровые турбины
- Тихоходные паровые турбины

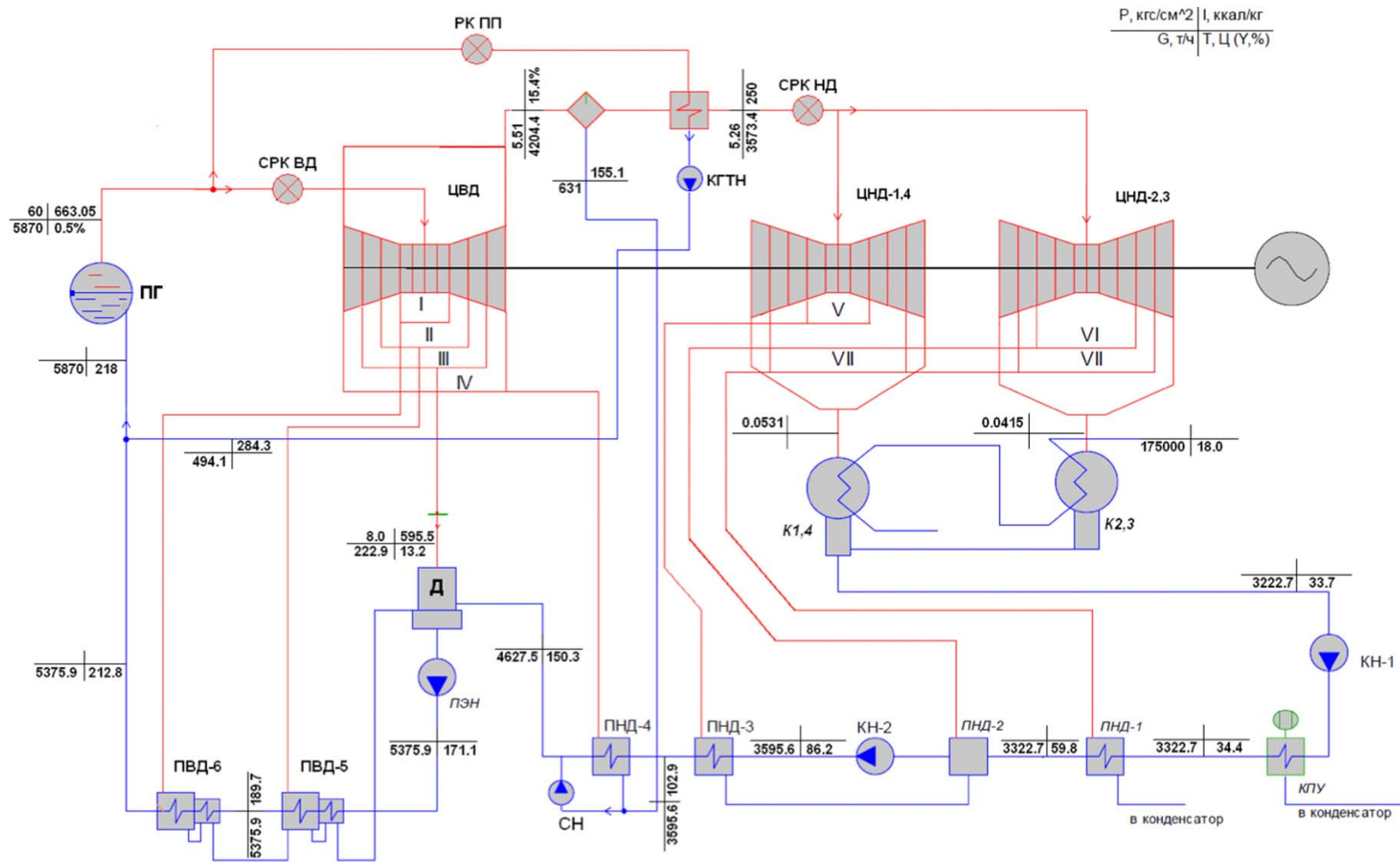
2


Раздел

Совершенствование тепловой схемы турбоустановки К-1000- 60/3000



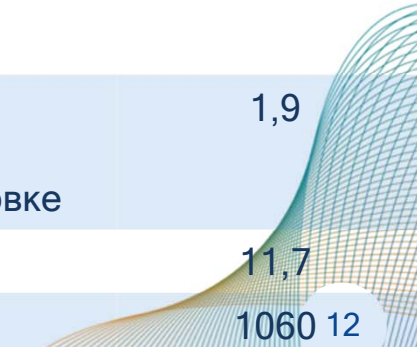
Тепловая схема турбоустановки К-1000-60/3000 для АЭС «Тяньвань» (Китай)





Пути совершенствования тепловой схемы турбоустановки К-1000-60/3000 и увеличения ее электрической мощности

	Технические решения, повышающие мощность турбоустановки	Ожидаемое увеличение мощности, МВт
1	Оптимизация системы регенерации турбоустановки	2,3
2	Решения по совершенствованию элементов проточной части ЦВД и ЦНД, в том числе: <ul style="list-style-type: none">– перепрофилирование НЛ и РЛ отдельных ступеней ЦВД и ЦНД, в том числе тангенциальный навал;– разработка более развитых надбандажных уплотнений в ЦВД и ЦНД;– обработка меридиональных обводов и каналов отборов пара в ЦВД;– применение улучшенной конструкции диафрагмы последней ступени ЦНД 3);– оптимизация конструкций паровпуска и паровыпуска ЦВД;– оптимизация конструкции выходного патрубка ЦНД.	7,5
3	Выбор характеристик конденсатора, обеспечивающих работу турбины с углубленным вакуумом: Рк=4,64 кПа (0,0473 ата), вместо 4,9 кПа (0,05 ата) в базовой турбоустановке	1,9
	Итого: расчётное суммарное увеличение мощности турбоустановки	11,7
	Итого: расчётная величина электрической мощности турбоустановки	1060 12

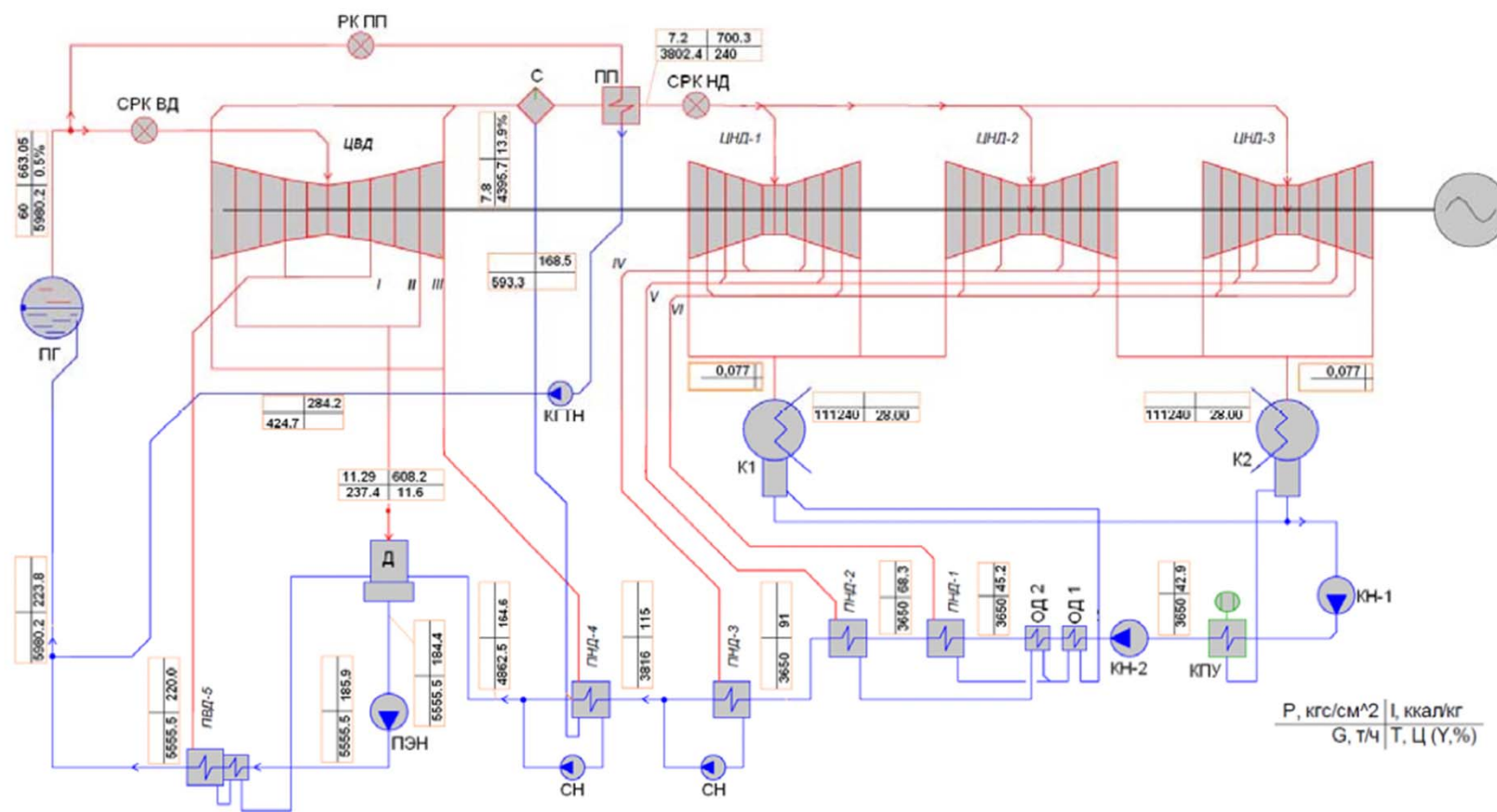


3

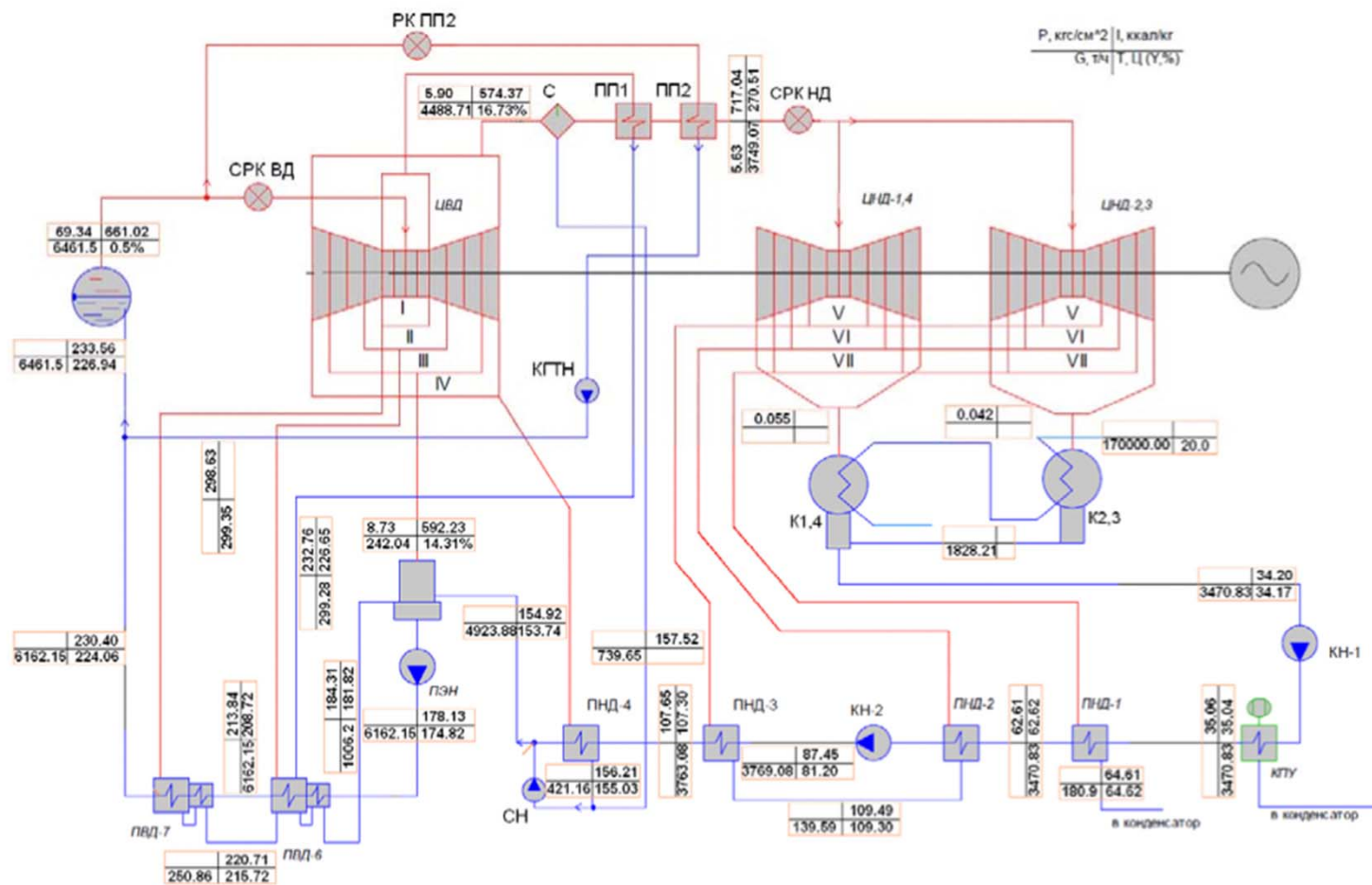
Раздел

Совершенствование тепловых схем турбоустановок с высоконагруженными последними ступенями ЦНД, а также тепловой схемы паровых турбин типа К-1200-6,8/50

Тепловая схема турбоустановки К-1000-60/3000-3 для АЭС «Бушер»



Тепловая схема турбоустановки типа К-1200-6,8/50



Совершенствование тепловой схемы промежуточной сепарации и перегрева пара турбины К-1200-6,8/50

Наименование	СПП разработан в соответствии с исходными ИТТ		СПП разработан в соответствии с измененными ИТТ	
	ЗИОМАР	«Балке-Дюрр»	ЗИОМАР	«Балке-Дюрр»
$U_{\text{вых.сепаратора}}, \%$	0,5	0,5	0,1	0,1
$t_{\text{пп-1}}, ^\circ\text{C}$	206	206	213,1	214,4
$\Delta t_{\text{пп-1}}, ^\circ\text{C}$	229,8-206=23,8	229,8-206=23,8	228,4-213,1=15,3	228,4-214,4=14,0
$t_{\text{пп-2}}, ^\circ\text{C}$	260	260	272,5	270
$\Delta t_{\text{пп-2}}, ^\circ\text{C}$	284,9-260=24,9	284,9-260=24,9	281,5-272,5=9	281,5-270=11,5
$\Sigma\Delta P_{\text{спп и пс}}, \%$	4,5	4,5	2,9	3,5
Диаметр, мм	4000	4000	4000	4200
Высота, мм	19,53	15,3	21,45	15,3
Масса, т	150	142	208	150
Увеличение электрической мощности турбоустановки за счет улучшения технических хар-к СПП ДНГ, МВт	-	-	6,8	5,2



Заключение

Совершенствование тепловых схем паротурбинных установок АЭС для энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР позволяет отечественному атомному энергомашиностроению обеспечивать и сохранять позиции мирового лидера в быстроходной паротурбинной энерготехнологии АЭС.