

9-11
АПРЕЛЯ 2025



РОССИЙСКИЙ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РМЭФ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ФОРУМ

Акционерное общество «Всероссийский
дважды ордена Трудового Красного Знамени
теплотехнический научно-исследовательский
институт» (АО «ВТИ»)



ВТИ
ВСЕРОССИЙСКИЙ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ
И Н С Т И Т У Т

Актуальность и научно-технический задел для создания в России высокоэффективного газотеплового энергоблока ССКП

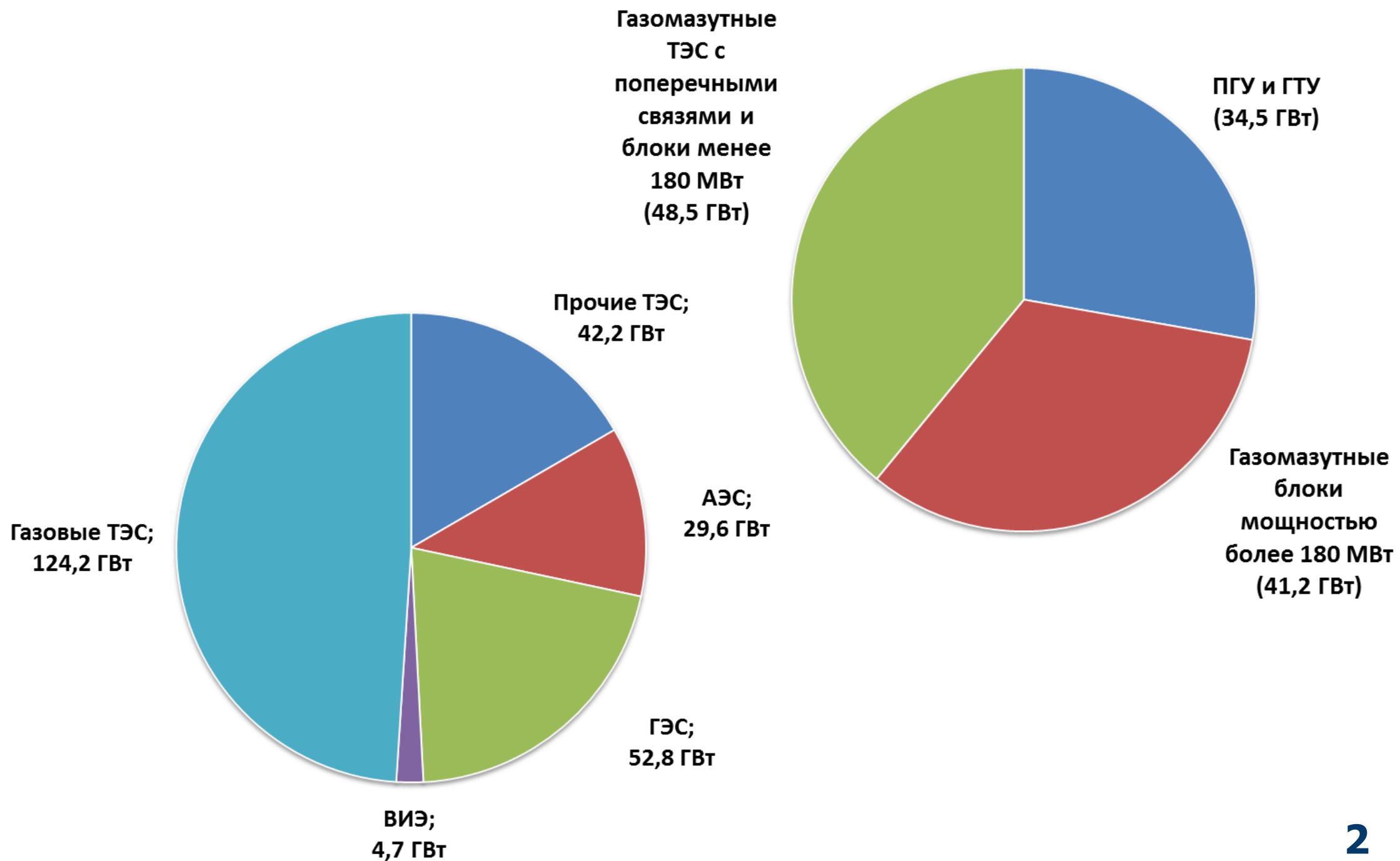
д.т.н. Тугов Андрей Николаевич

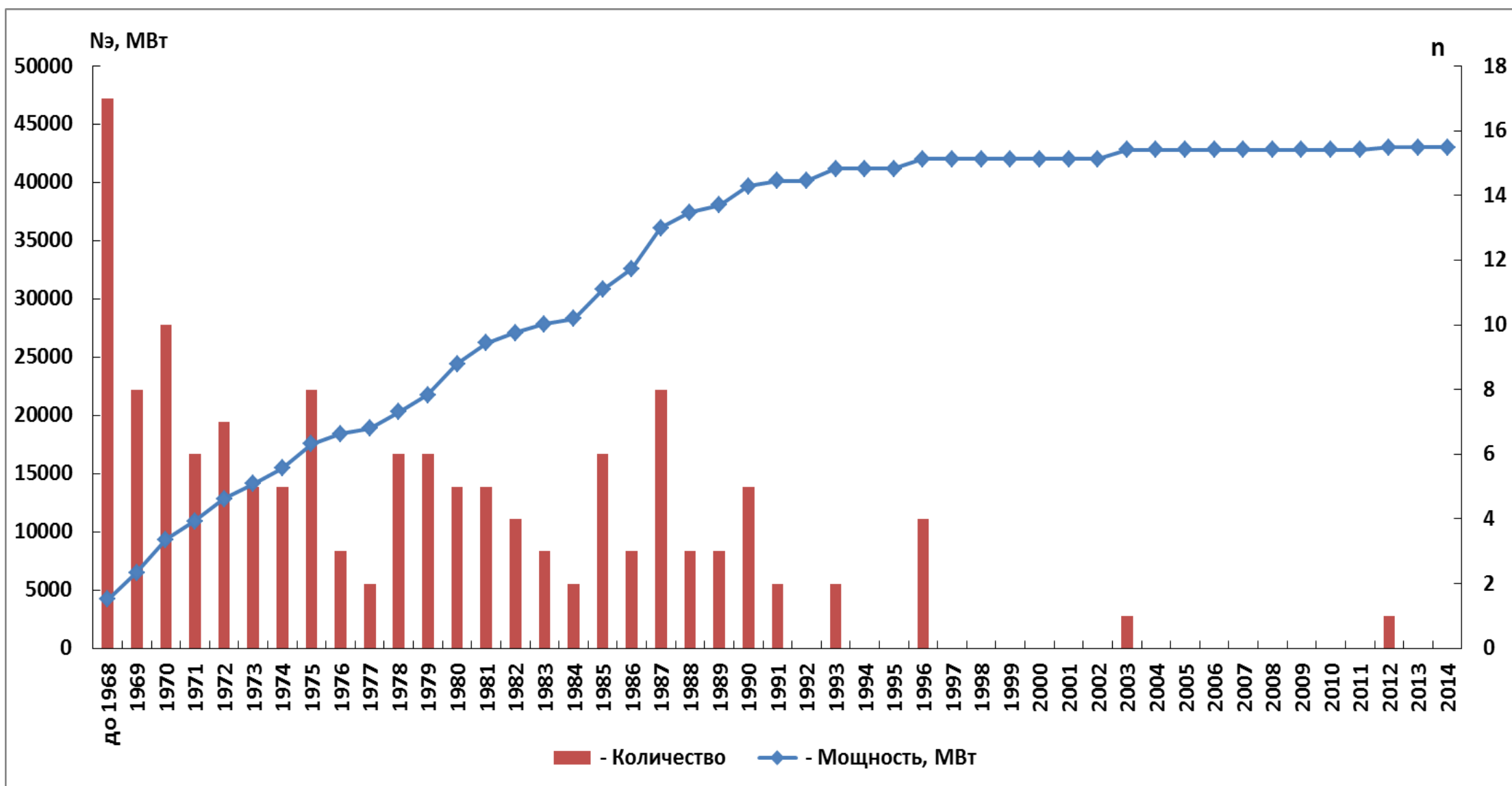
**Круглый стол
«Безопасное функционирование и эффективное развитие
электроэнергетики России»**

10 апреля 2025 г.



СТРУКТУРА УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГАЗОМАЗУТНЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РОССИИ







- **Учет полной себестоимости производства электроэнергии (а не только минимизация топливных затрат на отпуск энергии).**
- **Соответствие современным требованиям по маневренности, в том числе, экономичная работа оборудования при разгрузках и на пониженных нагрузках.**
- **Экологическая безопасность для окружающей среды, прежде всего, с точки зрения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ с дымовыми газами.**
- **Возможность сжигать мазут.**



Для сравнения выбраны наилучшие доступные отечественные технологии – газовые энергоблоки одинаковой мощности при одинаковом отпуске электроэнергии: блок СКД-350 с конденсационной турбиной К-350-25 и дублирующий блок ПГУ-350, состоящий из двух газовых турбин ГТД-110М, двух котлов-утилизаторов и конденсационной турбины К-120-8,8, а также перспективный газомазутный блок ССКП.

Базовые технико-экономические показатели	Значение
Годовое число часов использования установленной мощности, ч	6 000
Годовая выработка электроэнергии, млн кВт-ч	2 100
Расход энергии на собственные нужды, %	3
Годовой отпуск электроэнергии, млн кВт-ч	2 037
Цена условного топлива, руб./т	5 100
Срок службы блока, год	40
Назначенный ресурс паровой турбины, ч	220 000
Назначенный ресурс газовой турбины, ч	110 000
Срок строительства блока, год	2



Показатели	СКД	ССКП	ПГУ
Удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии, г/(кВт-ч)	300	260	228
Годовой расход условного топлива, тыс. т	611	530	464
Капитальные затраты блока, млн руб.	9927	13897	13496
Годовые затраты на условное топливо, млн руб.	3117	2701	2504
Годовые условно постоянные затраты без амортизации, млн руб.	657	814	1 054
Годовые амортизационные отчисления, млн руб.	248	347	557
Годовые эксплуатационные затраты, млн руб.	4022	3862	4115

Источник: 1. М.В. Лазарев, Н.В. Иванов, Н.А. Лебедева. Экономически обоснованные области применения паросиловых и парогазовых установок на ТЭС в современных условиях// Энергетик, 2024, №2

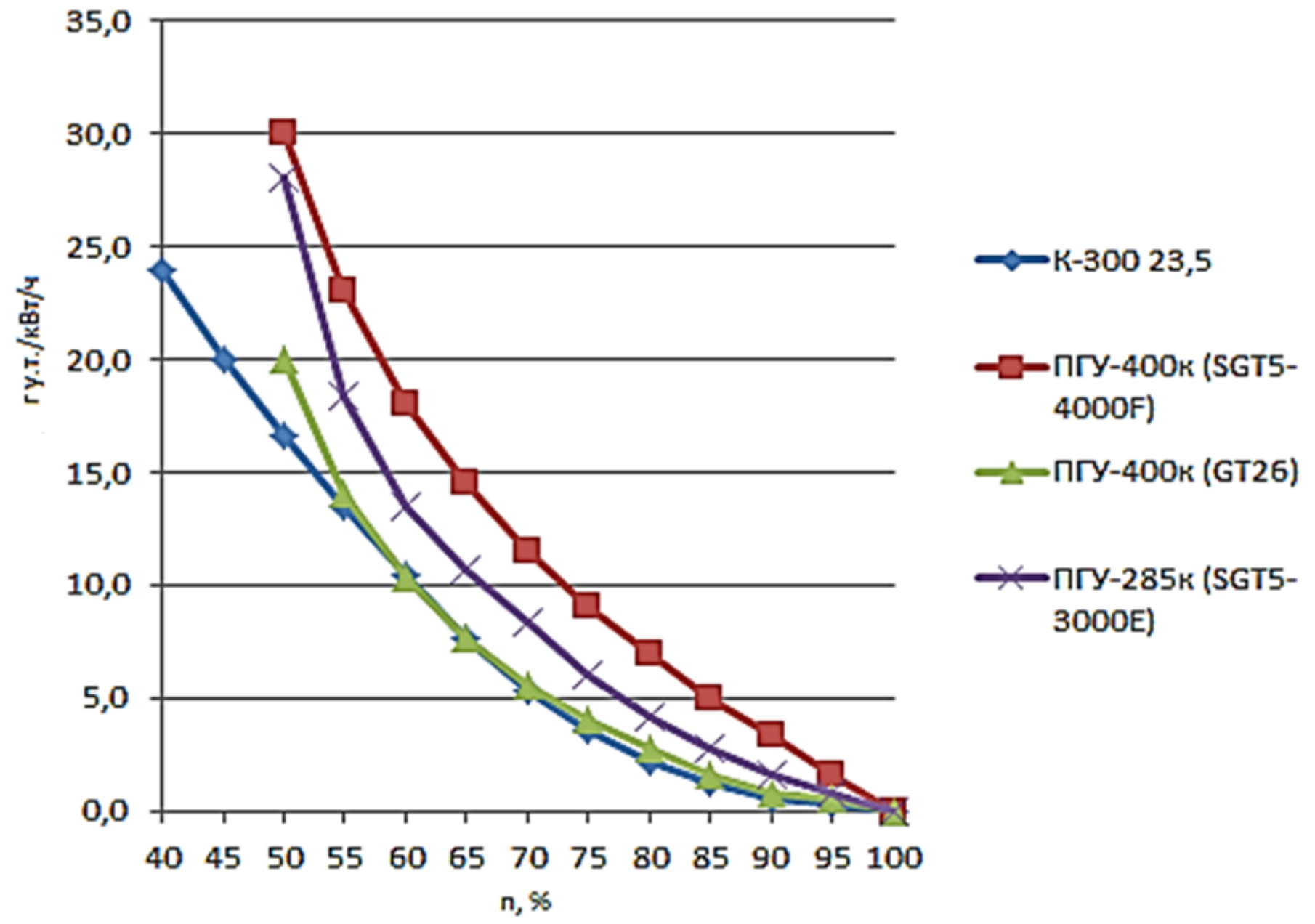


Показатели вариантов энергоблоков (в ценах 2023 г.)	СКД	ССКП	ПГУ
Затраты на топливо, руб./ (МВт-ч)	1530,0	1326,0	1229,1
Условно-постоянные затраты, руб./ (МВт-ч)	444,3	569,9	791,2
Налог на имущество, руб./ (МВт-ч)	105,9	148,2	142,7
Налог на прибыль, руб./ (МВт-ч)	19,2	26,4	2,6
Условно-постоянные затраты с налогами, руб./ (МВт-ч)	569,4	744,6	936,6
Себестоимость электроэнергии, руб./ (МВт-ч)	2099,4	2070,6	2165,7
Одноставочная цена на электроэнергию, руб./ (МВт-ч)	2176,2	2176,2	2176,2
Чистая прибыль, руб. / (МВт-ч)	76,8	105,7	10,6
Рентабельность производства электроэнергии, %	3,7	5,1	0,5

Источник: 1. М.В. Лазарев, Н.В. Иванов, Н.А. Лебедева. Экономически обоснованные области применения паросиловых и парогазовых установок на ТЭС в современных условиях// Энергетик, 2024, №2



УВЕЛИЧЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ РАЗГРУЗКЕ РЯДА МОЩНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ ($t_{нв} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$)





В соответствии с европейскими требованиями концентрация оксидов азота в продуктах сгорания природного газа не должна превышать:

- для ПСУ – 100 мг/нм³ при O₂ 3 %;
- для ПГУ – 50 мг/нм³ при O₂ 15 %.

В пересчете на O₂ 3 % для ПГУ эта предельная концентрация составит 150 мг/нм³, т.е. допускаются удельные выбросы оксидов азота в 1,5 раза больше, чем для традиционного сжигания при одинаковом количестве сжигаемого природного газа.

Если принять УРУТ для ПГУ и ПСУ по ранее представленным в таблице значениям, то валовые выбросы оксидов азота с дымовыми газами в атмосферу на 1 кВт-ч для ПГУ будут на **15–30 % больше**, чем для паросилового блока.



- Почти все действующие ПГУ создавались с использованием импортного оборудования. На фоне обострения международной обстановки сложно рассчитывать на дальнейшее широкомасштабное строительство в России ПГУ.
- Только недавно определена необходимость выпуска отечественных газовых турбин в нашей стране. Однако даже в рамках КОММод-ГТУ пуск в эксплуатацию головных ПГУ с отечественными турбинами намечен только на 2027–2028 гг. с общей мощностью всего лишь 1,6 ГВт.

В то же время, накопленный опыт проектирования, изготовления, освоения и широкомасштабного внедрения газомазутных ПСУ СКД позволяет в кратчайшие сроки создать современный паросиловой высокоэффективный газомазутный энергоблок на ССКП мощностью **660 МВт** с низкими удельными выбросами загрязняющих веществ и с **КПД нетто ~ 47 %** [2].

Источник: 2. А.Н. Тугов, В.А. Верещетин, Е.В. Сомова. Использование газообразного топлива в электроэнергетике России: опыт, существующее положение и перспективы// Энергия: экономика, техника, экология, 2023, №4



- Применяемые технические решения на существующих энергоблоках СКД можно использовать в проектах котлов блоков на суперсверхкритические параметры пара.
- На основании накопленного опыта ВТИ готов уже сейчас разработать гидравлическую схему пароводяного тракта котла ССКП, которая обеспечит разгрузку и пуски на скользящем давлении во всём тракте, а пусковой узел котла обеспечит при пусках надёжную работу поверхностей нагрева пароперегревательной части тракта. Это позволит осуществлять более экономичные пуски энергоблока и работать в широком диапазоне нагрузок: 20–100 % от номинальной.
- Текущие наработки ВТИ и ряда других организаций в области охраны окружающей среды позволяют добиться снижения выбросов токсичных оксидов азота на существующих газовых котлах до значений, удовлетворяющих ГОСТ (125 мг/нм³ при O₂ 6 %), только за счет организации топочного процесса. Создание котла «с нуля» позволит удовлетворить и более жесткие европейские требования (100 мг/нм³ при O₂ 3 %).



- В 2007–2008 гг. ВТИ, НПО ЦКТИ, ЦНИИТМАШ совместно с ОАО «ЭМАльянс» и ОАО «Силовые машины» была выполнена предпроектная проработка угольного энергоблока мощностью 660 МВт на параметры пара 29,4 МПа; 600/620°C [3]. Были разработаны технические решения по оптимизации тепловой схемы блока, обеспечению работы блока на скользящем давлении во всем диапазоне нагрузок и при пусках, предложены бездеаэрационная тепловая схема, смешивающие подогреватели низкого давления, упрощенная пусковая схема с БРОУ, вариант блока с давлением пара промперегрева 7,0–7,5 МПа и жестким ротором ЦВД. Эти же технические решения могут быть использованы и для газомазутного блока такой же мощности (660 МВт).
- В НПО «ЦНИИТМАШ» разработаны жаропрочные стали для высокотемпературного котельного и паропроводного оборудования с рабочей температурой пара до 650°C [4].
- Для роторов паровых турбин блоков ССКП с рабочей температурой пара до 620°C освоена в опытно-промышленном производстве хромистая жаропрочная сталь мартенситного класса марки 12X10B1M1ФБР (аналог зарубежной стали E911) [5].

Источники: 3. А.Г. Тумановский, М.Ю. Алтухов, А.Л. Шварц и др. Разработка пылеугольного энергоблока на суперкритические параметры пара мощностью 660 МВт // Электрические станции. – 2010. – № 1. – С. 18 – 27.

4. В.Ф. Резинских, А.В. Пчелинцев. Исследование служебных характеристик стали 10X9B2MФБР-Ш // Теплоэнергетика, 2010, № 1.

5. В.Н. Скоробогатых, И.А. Щенкова. Разработка и освоение материалов для тепловых блоков на суперсверхкритические параметры // Энергоназор и энергобезопасность, 2008, №1.



- Паросиловой газомазутный блок ССКП мощностью 660 МВт за счёт совершенствования термодинамического цикла, оптимизации тепловой схемы, совершенствования основного и вспомогательного оборудования и, главное, повышения параметров пара перед турбиной (давление 28–30 МПа и температура 620 °С) позволяет получить КПД нетто ~47 %.
- По экономическим показателям в расчете на весь жизненный цикл (при существующих в нашей стране ценах на природный газ), а также учитывая то, что все оборудование для такого блока, включая основное (котел, турбина, насосы, теплообменники и т. п.), могут изготавливать отечественные машиностроительные заводы, такой блок вполне является конкурентоспособным по сравнению с ПГУ аналогичной мощности.
- Следует также отметить, что по совокупным показателям, включая энергетическую безопасность, паросиловой газомазутный блок ССКП может оказаться даже более предпочтительным для РФ в среднесрочной перспективе.



Благодарю за внимание!



**Акционерное общество
«Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени
Теплотехнический научно-исследовательский институт»
(АО«ВТИ»)**

**115280, г. Москва, ул. Ленинская слобода, д. 23, корп. 4.
ANTugov@vti.ru**