Отгрузка газовой турбины SGT5-2000E в завода СТГТ

Газотурбинная установка SGT5-2000E
мощностью 187 МВт для программы ДПМ-2

Д. М. Михайлов, А. Н. Гармидер – ООО «Сименс Технологии Газовых Турбин»

In brief

SGT5-2000E gas turbine plant rated at 187 MW for Capacity supply agreement-2.

OOO Siemens Gas Turbine Technologies is engaged in the sale, manufacturing, assembling, commissioning, maintenance and upgrading of SGT5-2000E gas turbine plants if Russia and CIS countries. SGT5-2000E gas turbine plant (former V94.2) was introduced to the market for the first time in 1981 and since that time was being continuously upgraded in regard to technical and economic performance. There are nine versions of SGT5-2000E gas turbine. At present more than 450 SGT5-2000E gas turbine plants were manufactured and supplied to the customers. SGT5-2000E core engine has a horizontally split casing and two silo-type combustion chambers, equipped with individually replaceable ceramic tiles.

Компания «Сименс Технологии Газовых Турбин» (СТГТ) занимается продажей, изготовлением, монтажом, пусконаладкой, обслуживанием и модернизацией газотурбинных установок SGT5-2000E в России и странах СНГ.

ГТУ SGT5-2000E (предыдущее название V94.2) была впервые представлена на мировом рынке в 1981 году и с тех пор постоянно совершенствовалась в части технико-экономических показателей (существует девять версий этой турбины). На 2018 год изготовлено более 450 газотурбинных установок SGT5-2000E.

Отличительными особенностями ГТУ являются подтвержденные технические показатели, высокая надежность, маневренность, низкий уровень выбросов вредных веществ, низкая удельная стоимость и низкая стоимость технического обслуживания, достигнутый уровень локализации.

В 2017–2018 гг. компания «Сименс» подписала два контракта, в соответствии с которыми две ГТУ в двухтопливной конфигурации поставлены на Грозненскую ТЭС для работы в простом цикле и две установки, использующие в качестве топлива синтез-газ / природный газ, будут поставлены на Нижнекамскую ТЭЦ для работы в составе ПГУ (2ГТУ+1ПТУ).

Технические характеристики ГТУ

Газовая турбина SGT5-2000E является одновальной, с двухопорным ротором. Осевой компрессор состоит из 16 ступеней с регулируемыми лопатками входного направляющего аппарата. Степень сжатия в компрессоре составляет 12,8. Топливо сжигается в выносных камерах сгорания, расположенных вертикально, симметрично по обе стороны ГТУ.

Преимуществом выносных камер сгорания являются небольшие потери давления в них, возможность применения оптимальной защитной плитки, небольшая неравномерность температур продуктов сгорания перед турбиной, отсутствие повреждения турбины при неисправности горелок, гибкость в использовании топлива. Одно из преимуществ – раздельная транспортировка газовой турбины и камер сгорания. Нужно отметить также простоту доступа для осмотра и ремонта внутренних элементов камеры сгорания.

Температура перед турбиной соответствует уровню 1100 °С. Турбинная часть имеет четыре ступени, охлаждение осуществляется воздухом, забираемым из проточной части компрессора. Выход продуктов сгорания из турбины – осевой. Масса газовой турбины, составляющая менее 200 тонн, обеспечивает гибкость при выборе варианта транспортировки до места эксплуатации. Установка газовой турбины SGT5-2000E на транспортер в условиях завода СТГТ показана на *фото*.

В состав ГТУ SGT5-2000E входят различные вспомогательные системы:

- генератор с воздушным охлаждением;
- система возбуждения (СВ);
- тиристорное пусковое устройство (ТПУ);
- трансформаторы СВ и ТПУ;
- комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ), выхлопной диффузор;
- базовый модуль, куда входит маслосистема и блок топливного газа;
- модуль жидкого топлива;
- центр управления мощностью (ЦУМ), куда входит электротехническое оборудование, стойка генераторных защит, шкафы СВ и ТПУ, системы управления и др.;
- система пожаротушения со стойкой баллонов с CO_2, трубопроводы ГТУ, система промывки компрессора;
- шумозащитные кожухи (стенки) для газовой турбины, промвала, генератора и камер сгорания.

Компоновка ГТУ SGT5-2000E представлена на *рис. 1*.

Часть вспомогательных систем имеет фиксированное положение, а часть может быть расположена в соответствии с требованиями технической спецификации заказчика (*рис. 2*). Оборудование, расположенное в ЦУМ, может размещаться на блочном щите управления. При наличии такого требования КВОУ может быть с односторонним или трехсторонним подводом воздуха, с удлиненным горизонтальным участком и т.д.

Типовые технические показатели ГТУ SGT5-2000E последней версии в различных вариантах применения представлены в *табл.* Зависимости электрической мощности, электрического *КПД*, температуры продуктов сгорания за ГТУ и расхода продуктов сгорания SGT5-2000E от температуры наружного воздуха при работе в составе парогазовой установки показаны на *рис. 3*.

Для увеличения мощности ГТУ в летние периоды с высокой температурой наружного воздуха могут применяться системы влажного сжатия или испарительного охлаждения воздуха, устанавливаемые в КВОУ опционально.

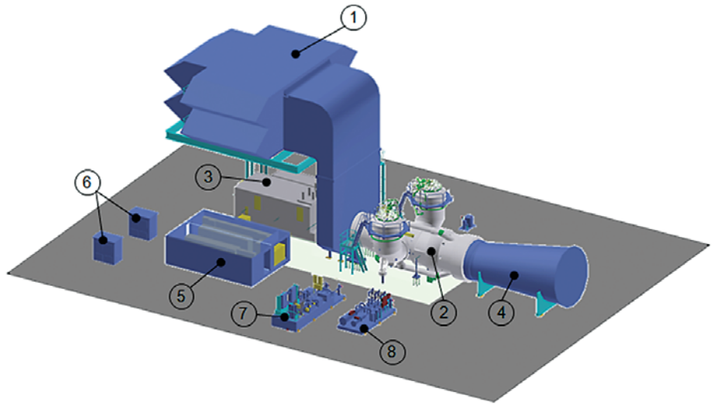


Рис. 1. **Компоненты ГТУ SGT5-2000E:**
1 – КВОУ; 2 – газовая турбина; 3 – генератор; 4 – выхлопной диффузор; 5 – ЦУМ; 6 – трансформаторы СВ и ТПУ; 7 – базовый модуль; 8 – модуль жидкого топлива

Это может быть реализовано как для нового проекта, так и для существующего – в рамках модернизации.

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание ГТУ осуществляется на месте установки (ТЭС, ГРЭС). Наработка между инспекциями частей горячего тракта (межсервисный интервал) стандартно составляет 25 тысяч эквивалентных часов эксплуатации. Интервалы между инспекциями

ООО «Сименс Технологии Газовых Турбин» (СТГТ) – совместное предприятие Siemens AG (65 %) и ПАО «Силовые машины» (35 %). Предприятие основано в 2011 году для локального изготовления, поставки, ввода в эксплуатацию, обслуживания и модернизации ГТУ мощностью более 60 МВт, а также ПТУ в комплектной поставке с ГТУ.

Производственный комплекс по изготовлению газовых турбин, сервисный центр по восстановлению лопаток и удаленный мониторинговый центр для диагностики технического состояния ГТУ располагаются в Ленинградской области (промзона Горелово). Также имеется офис в Москве.

За семь лет существования СТГТ реализовало проекты по поставке, вводу в эксплуатацию, модернизации и обслуживанию ГТУ SGT5-2000E, SGT5-4000F и SGT5-4000F в одновальной ПГУ. Непосредственно на предприятии изготовлены десять газовых турбин SGT5-2000E, а также различные компоненты, например, ротор для SGT5-4000F для заказчиков в Российской Федерации и за рубежом.

Компания имеет портфель контрактов на поставку, обслуживание и модернизацию газовых турбин, а также на восстановление лопаток. Проводится работа по локализации ГТУ для соответствия требованиям российского рынка. Подробная информация по продукции СТГТ представлена на официальном сайте компании www.siemens.ru/gas-turbines

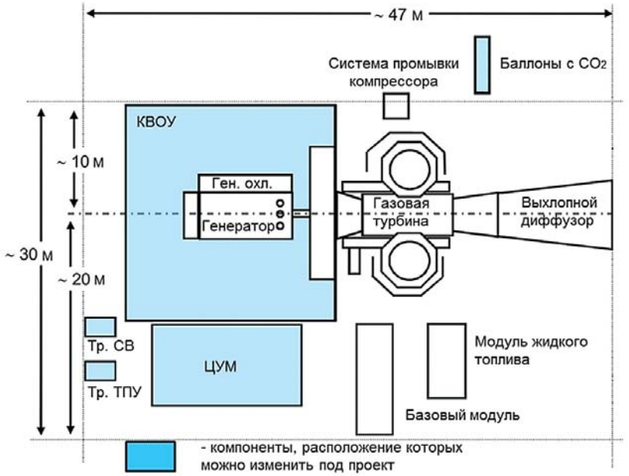
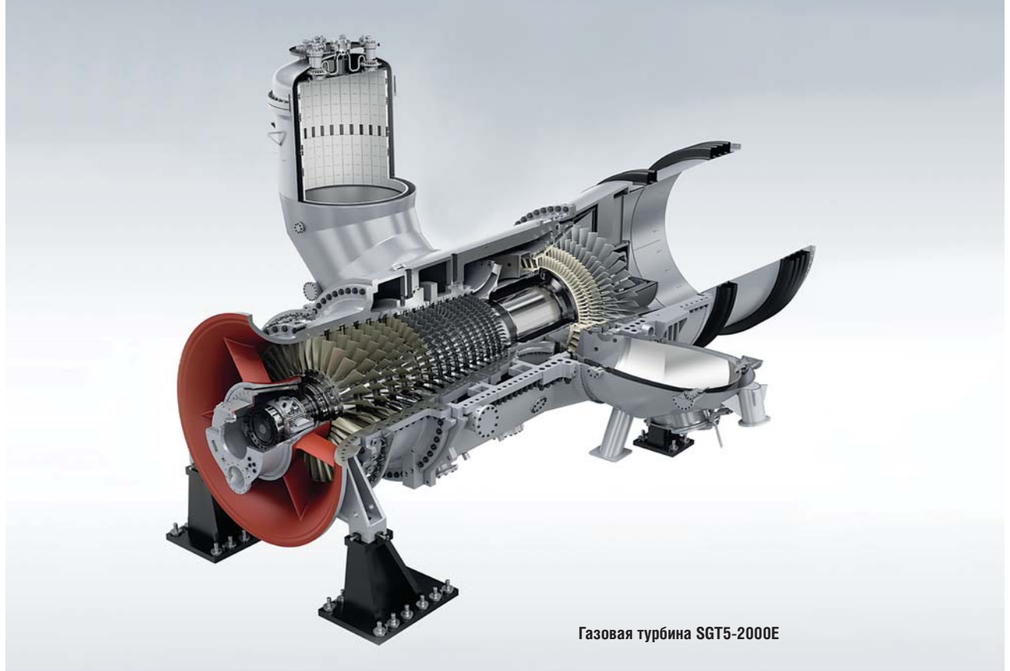


Рис. 2. **Компоновка ГТУ SGT5-2000E с типовыми размерами**



Газовая турбина SGT5-2000E

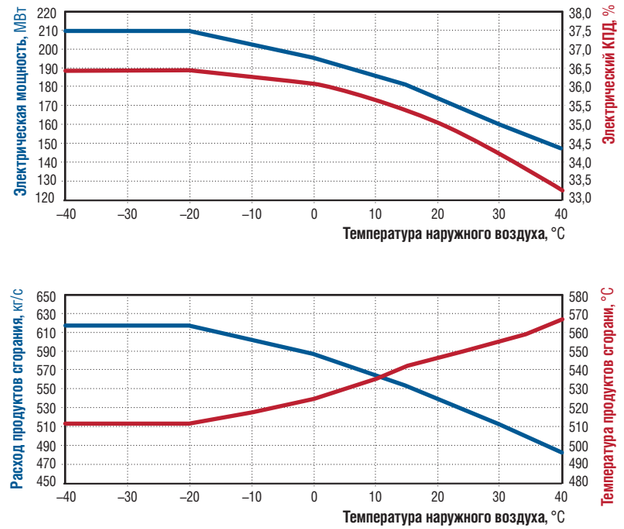


Рис. 3. **Типовые зависимости показателей ГТУ, работающей в составе ПГУ, от температуры наружного воздуха**

Табл. **Типовые технические показатели ГТУ SGT5-2000E последней версии в различных вариантах применения**

Показатели	ГТУ (ISO)	ГТУ в составе ГТУ-ТЭС	ГТУ в составе ПГУ (1+1) с КУ двух давлений
Сопротивление на входе / выходе, мбар	0 / 0	9 / 8	9 / 35
Условия наружного воздуха: - температура, °С - давление, бар - относительная влажность, %	 +15 1,013 60	 +15 1,013 60	
Межсервисный интервал между инспекциями частей горячего тракта*, тыс. экв. ч	25 (25 МАС)		
Топливо	Метан (CH_4 = 100 %)		
Температура топливного газа, °С	15		
Давление топливного газа, бар (изб.)	22,5		
Степень сжатия в компрессоре	12,8		
Электрическая мощность ГТУ, МВт	187	183,4	181,0
Электрический КПД ГТУ, %	36,2	35,9	35,4
Расход продуктов сгорания, кг/с	558	554	554
Температура продуктов сгорания, °С	536	539	543
Выбросы NO_x (15 % O_2), не более, мг/м³	50		
Содержание O_2 в продуктах сгорания, %	13,5		
Продолжительность стандартного пуска / быстрого пуска, мин	20 / 17		
Стандартная скорость изменения нагрузки, МВт/мин	11 (опция: 15)		
Быстрая скорость изменения нагрузки, МВт/мин	15 (опция: 30)		
Стандартная величина ступенчатого нагружения при работе на изолированную нагрузку / изолированный район, где требуется поддержание частоты и мощности, %	До 10 % и выше (зависит от условий работы в изолированной сети)		

** При снижении номинальной мощности ГТУ SGT5-2000E межсервисный интервал может быть расширен вплоть до 50 тыс. эквивалентных часов (50 МАС)*

и условия проведения инспекций оптимизируются под требования каждого проекта. При увеличении межсервисного интервала с 25 до 50 МАС электрическая мощность и электрический *КПД* ГТУ снижаются до 10 МВт и до 0,2 % (абс.) соответственно, при этом индикативная стоимость обслуживания также снижается.

Стандартный ресурс газовой турбины составляет 120 000 эквивалентных часов (15 лет работы в базовом режиме). После этого требуется проведение обследования с целью продления ресурса. Техобслуживание ГТУ SGT5-2000E выполняется специалистами сервисной службы СТГТ, с использованием локального склада запчастей и сервисного центра по восстановлению лопаток турбины (открыт в мае 2018 г.), а также данных центра удаленного мониторинга. Такой комплексный подход обеспечивает оптимальную скорость реагирования на экстренные запросы со стороны заказчиков.

Развивается кооперация с российскими компаниями при проведении технического обслуживания как по субподрядной схеме, так и по договорам подряда с головными сервисными службами генерирующих компаний.

Локализация

Газотурбинная установка SGT5-2000E по конструктивным и техническим характеристикам оптимально подходит для локализации. СТГТ последовательно выполняет требования Минпромторга в части локализации (ПП №719). В 2017 году достигнута степень локализации газовой турбины 52 %. В 2018 году планируется достичь степени локализации более 60 %, а в 2019 году – 70 %. Основная цель компании – это полная локализация газовой турбины, включая компоненты горячего тракта, на базе экономически обоснованного количества заказов.

Помимо непосредственно газовой турбины, продолжается плановая работа по локализации вспомогательных систем ГТУ. Уже сегодня могут применяться в реализуемых проектах системы российского изготовления, такие как генератор, КВОУ, выхлопной диффузор, система пожаротушения, кабели, трансформаторы СВ и ТПУ, трубопроводы, электрические системы, шумозащитные кожухи, система запального газа (при работе на жидком топливе), система промывки компрессора, тепловая изоляция газовой турбины.

Участие в ДПМ-2

Компания видит свое участие в программе модернизации электростанций в соответствии с программой ДПМ-2, в первую очередь с ГТУ SGT5-2000E. Реализация может быть выполнена по двум вариантам, направленным на повышение эффективности использования топлива: а) работа на котел-утилизатор (КУ) одного-двух давлений для генерации пара в коллекторы на станциях с поперечными связями; б) модернизация конденсационных блоков К-160, К-200, К-300 по парогазовой технологии. Рассмотрим эти варианты подробнее.

Работа на КУ для генерации пара двух давлений в станционные коллекторы на станции с поперечными связями (рис. 4). Зависимости параметров комбинированного цикла в составе ГТУ SGT5-2000E и КУ двух давлений при работе на станционные коллекторы (140 ата, 550 °С и 6 ата) от температуры наружного воздуха представлены на *рис. 5*.

Расход топлива на дожигание уменьшается или исключается со снижением в проекте требуемой температуры пара. Каждый проект нужно рассматривать отдельно, так как есть различные возможности для оптимизации характеристик.

Модернизация конденсационных блоков К-200, К-300 по парогазовой технологии. ГТУ SGT5-2000E в составе ПГУ-550 (2+1) мощностью 550 МВт хорошо вписывается в существующие машзалы с паросиловыми установками К-200, К-300.

На *рис. 6* представлен пример замещения трех блоков К-200 двумя ГТУ SGT5-2000E

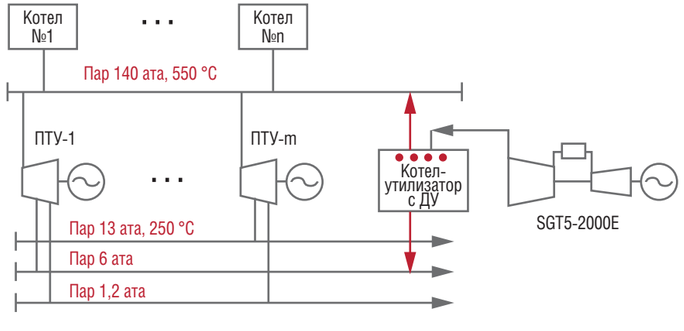


Рис. 4. **Схема работы ГТУ SGT5-2000E на КУ в составе станции с поперечными связями**

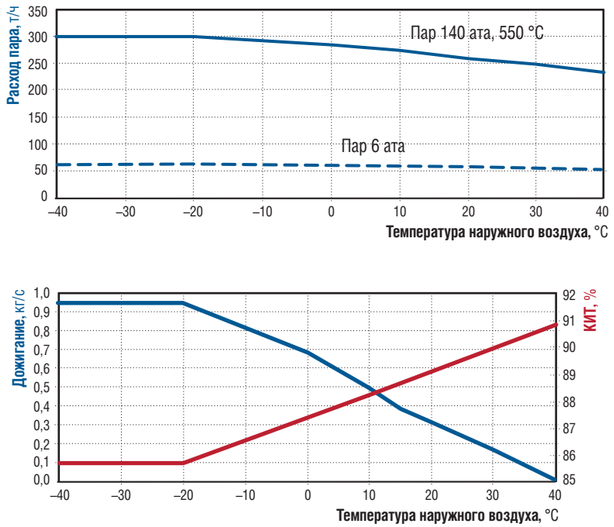


Рис. 5. **Влияние температуры наружного воздуха на расходы пара от КУ двух давлений, коэффициент использования теплоты топлива и расход топливного газа на дожигание**

с новой паротурбинной установкой. При этом сохраняется схема выдачи мощности (СВМ). Что касается паротурбинной установки – можно модернизировать существующую ПТУ для работы в составе ПГУ, а можно установить новую ПТУ на старый фундамент, с заменой генератора (с водородным охлаждением на генератор с воздушным охлаждением).

Показатели (брутто) ПГУ, выполненной по схеме (2ГТУ+1ПТУ), с установкой в машзале вместо трех блоков К-200, с двумя КУ двух давлений без дожигания, в зависимости от температуры наружного воздуха представлены на *рис. 7*. Новая ПТУ установлена на существующий фундамент К-200.

Тепловой баланс ПГУ (2+1) для температуры наружного воздуха +15 °С с детальной информацией представлен на *рис. 8*. Электрическая мощность ПГУ (брутто) составляет 548 МВт, электрический *КПД* (брутто) – 53,57 %.

Аналогичный подход может использоваться и в случае замены двух блоков К-300 на ПГУ-550 (2+1). Площади для установки ПГУ-550 будет достаточно и в этом случае.

При модернизации конденсационных блоков К-200, К-300 в ПГУ-550 более интересным представляется вариант применения новой ПТУ с новым генератором, а не модернизация существующей установки. Но каждый случай необходимо рассматривать индивидуально.

На этапе инициализации проекта СТГТ разрабатывает концепцию установки SGT5-2000E применительно к конкретной станции, выполняет оптимизацию схемы, расчеты тепловых балансов ГТУ/ПГУ при разных температурах наружного воздуха и нагрузках.

Кроме того, компания предоставляет компоновку ГТУ, делает предварительную коммерческую оценку проекта, привлекает поставщиков общестанционного вспомогательного оборудования для экспертных оценок. При необходимости проводится первичное обследование имеющегося станционного оборудования. Это может затем использоваться при предпроектных проработках различных вариантов, а также для подготовки инвестиционного решения в части заказа ТЭО проектными институтами и инженерными подразделениями заказчиков.

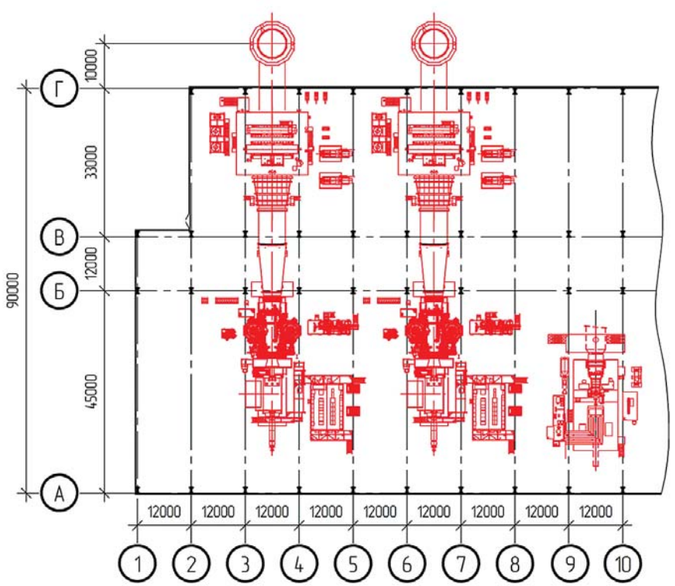


Рис. 6. **Пример установки двух ГТУ SGT5-2000E с новой ПТУ на месте трех К-200**

Преимущества ГТУ

SGT5-2000E обладает преимуществами, которые позволяют реализовать проект с максимальной эффективностью для заказчиков. К ним относятся:

- высокая надежность ГТУ, доказанная временем эксплуатации;
- рекордно низкая удельная стоимость оборудования и технического обслуживания;
- индивидуальное проектирование под требования заказчика. Это относится к любому оборудованию, которое входит в объем поставки ГТУ. Например, согласно требованиям заказчика, выбор генератора для SGT5-2000E осуществляется с запасом по мощности 10...15 % для возможной модернизации газовой турбины в будущем. Но если заказчик стремится сохранить СВМ, не предполагая в дальнейшем значительно увеличивать мощность ГТУ, а фокус будущих модернизаций будет направлен только на повышение *КПД* ГТУ (ПГУ), то генератор может быть оптимизирован по цене;
- наличие в ООО «СТГТ» высококвалифицированной команды российских специалистов по ГТУ (газовая турбина, САУ ГТУ, электрическая часть, механические системы), что позволяет проводить адаптацию ГТУ на всех стадиях ее жизненного цикла под требования российских заказчиков и надзорных органов;
- приспособленность для работы в различных климатических условиях (в т.ч. в условиях Крайнего Севера), при сейсмичности площадки строительства до 9 баллов (по шкале MSK-64) включительно, соответствующих требованиях энергосистемы (в т.ч. работа на изолированную сеть);
- гибкость в использовании топлива (природный газ, жидкое топливо, сингаз, коксовый газ и др.);
- газовая турбина и вспомогательное оборудование просты в монтаже, пусконаладке и эксплуатации; понятная концепция необходимых приспособлений для монтажа и обслуживания;
- работы по шефмонтажу, шефналадке и техническому обслуживанию выполняются силами российских специалистов;
- существующий опыт по вводу в эксплуатацию газовых турбин данного типа у российских заказчиков и субподрядчиков позволяет планировать реальные сроки проведения работ: монтаж, пусконаладку, сервис (отсутствие «подводных камней»);
- высокая скорость и гибкость реагирования на запросы заказчиков;
- стандартное требуемое давление топливного газа перед ГТУ составляет 22,5 бар (изб.), что в некоторых случаях позволяет избежать применения ДКС. В случае ее применения расход электроэнергии на компримирование природного газа будет в меньшей степени влиять на показатели нетто, что необходимо учитывать при коммерческой оценке проектов;
- достигнутый уровень локализации, целевое решение СТГТ по соответствию требованиям ПП №719.

По совокупности перечисленных преимуществ ГТУ SGT5-2000E можно использовать при модернизации тепловых станций (с поперечными связями, на базе конденсационных паросиловых блоков типа К-160, К-200, К-300 и др.) по парогазовой технологии в рамках программы ДПМ-2.

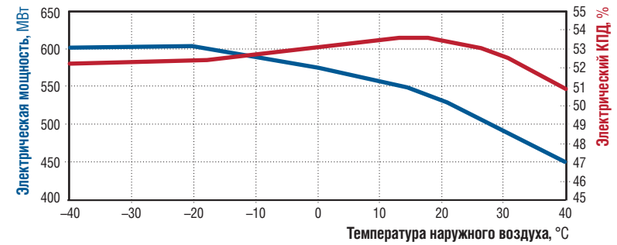


Рис. 7. **Зависимость электрической мощности и КПД ПГУ от температуры наружного воздуха**

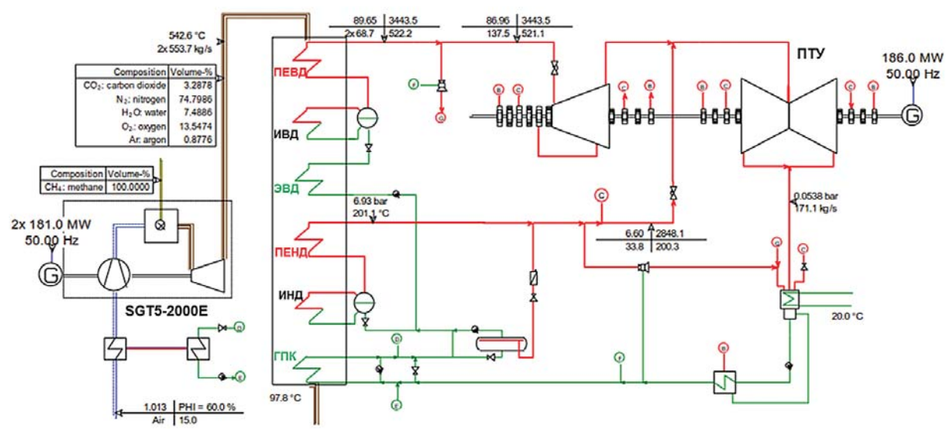


Рис. 8. **Тепловой баланс ПГУ (2+1) для температуры наружного воздуха +15 °С**