

## Из истории строительства ПГУ 220 МВт на Казанской ТЭЦ-2

**В** последние годы наибольшую целесообразность приобрело техническое перевооружение отечественных электростанций с использованием парогазовых технологий. Для более старых ТЭЦ в крупных городах предпочтение отдаётся парогазовым установкам (ПГУ) мощностью до 220 МВт с одной или двумя ГТУ. В свою очередь парогазовая установка ПГУ 220 МВт — одно из наиболее экономичных решений выработки электрической и тепловой энергии, а опыт их применения насчитывает уже не один десяток лет. Кроме того, важное значение для повышения эффективности ТЭС имеет вывод из эксплуатации старого низкоэффективного оборудования и замена его перспективным, обеспечивающим снижение затрат на производство электроэнергии и тепла, снижение расхода топлива, уменьшение выбросов в атмосферу и затрат на ремонт.

К 2011 г. часть основного оборудования Казанской ТЭЦ-2 фактически выработала свой ресурс. Её эксплуатация создавала риски аварий, требовала значительных средств на капитальные и текущие ремонты, приводила к дополнительным простоям оборудования в ходе ремонтов. В связи с этим потребовалось техническое перевооружение ТЭЦ с замещающими мощностями для вывода из эксплуатации выработавшего свой ресурс оборудования.

Для осуществления соответствующего проекта 20 ноября 2013 г. в Правительстве Республики Татарстан при участии Президента Рустама Минниханова генеральный директор ОАО «Генерирующая компания» Раузил Хазиев и ге-

неральный директор ЗАО «КЭС» Борис Вайнзихер подписали меморандум о совместной реализации инвестиционного проекта по строительству объекта генерации (рис. 1) на площадке Казанской ТЭЦ-2 на условиях договоров о предоставлении мощности (ДПМ).

Подписанный меморандум предусматривал перенос инвестиционного проекта по строительству генерирующего объекта, с использованием которого будет осуществляться поставка мощности по ДПМ, с площадки Новобогословской ТЭЦ ОАО «ТГК-9» (входит в «КЭС Холдинг») на площадку Казанской ТЭЦ-2 (принадлежит ОАО «Генерирующая компания»).

Данное решение энергетических компаний обуславливалось энергодефицитом г. Казани и избытком генерирующих мощностей в Серово-Богословском энергоузле Свердловской области, где с вводом ВЛ «Северная – БАЗ», а также завершением строительства Серовской ГРЭС и Нижнетуринской ГРЭС, мощность Новобогословской ТЭЦ оказывалась бы невостребованной. Перенос инвестиционного проекта на площадку Казанской ТЭЦ-2 стал не только оптимальным решением для КЭС и Генерирующей компании, но и позволил бы сократить затраты на электроэнергию для потребителей благодаря вводу новой энергоэффективной генерации. Поскольку столица Татарии Казань активно развивается — в городе идёт строительство новых жилых, социальных и промышленных объектов, растёт экономика региона, техперевооружение Казанской ТЭЦ-2 позволит покрыть потребности города в энергии, и тем

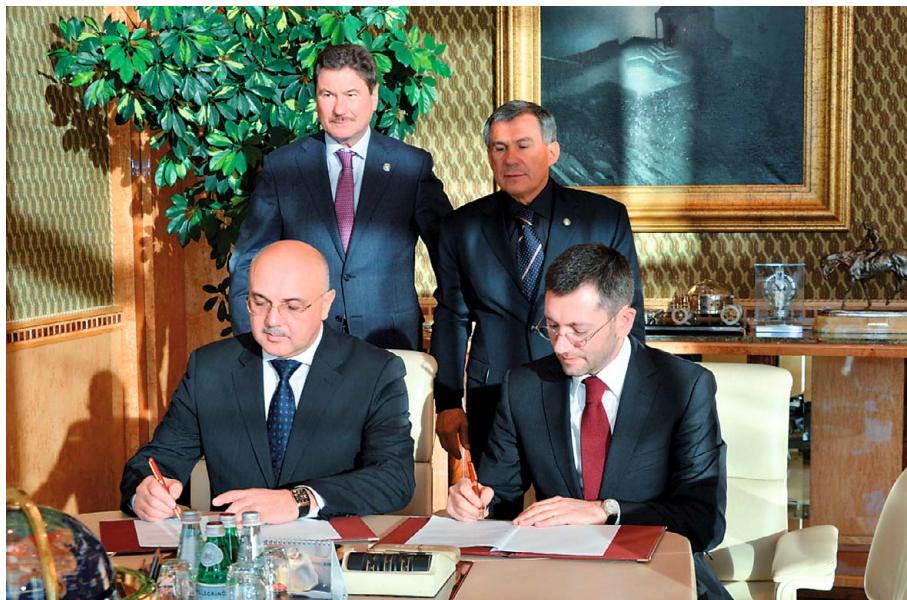


Рис. 1. Подписание меморандума о совместной реализации инвестиционного проекта на условиях договора о предоставлении мощности (ДПМ). На втором плане: Р. Н. Минниханов, Р. Х. Зарипов, на первом плане: Р. М. Хазиев, Б. Ф. Вайнзихер

доктор техн. наук, профессор



Рис. 2. Способы реализации инвестиционных проектов

самым способствовать его развитию и частично компенсировать затраты потребителей республики на оплату строительства объектов по программе ДПМ.

Учитывая совокупность всех факторов, влияющих на производство в целом, по программе обновления генерирующих мощностей компаний было принято решение о строительстве двух блоков ПГУ с увеличением электрической мощности на 220 МВт и тепловой — на 140 Гкал/ч в целях ликвидации дефицита и обеспечения перспективного спроса потребителей на тепловую и электрическую энергию в казанском энергоузле.

В составе каждого энергоблока предусмотрены газовая турбина PG6111FA мощностью 77 МВт ± 10 % производства фирмы «General Electric», котёл-утилизатор E-114/16-8,1/0,7-535/218-3,88 производства «ЭМАльянс» и паро-

вая турбина типа Т-26/36-7,5/0,12 мощностью 26,4/36,4 МВт производства ОАО «Силовые Машины» (ОАО «Калужский турбинный завод»).

Работа каждого энергоблока ПГУ мощностью 110 МВт запроектирована по схеме утилизационной парогазовой установки с одной газовой турбиной, паровым котлом-утилизатором двух давлений без дожигания топлива и паровой турбиной с одним регулируемым отбором (конфигурация 1 ГТУ + 1 КУ + 1 ПТУ), с расположением оборудования в новом отдельно стоящем здании главного корпуса энергоблока с машинным и котельным отделениями, щитом управления блока, с двумя новыми дымовыми трубами высотой 60 м и градирнями.

По проекту техническое перевооружение ТЭЦ-2 с установкой ПГУ предусматривало:

- повышение КПД новой генерации до 52 вместо 33 % старой;
- снижение удельного расхода условного топлива у новой генерации до 260 г/(кВт · ч) вместо 340 г/(кВт · ч) до техперевооружения;
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу в пять раз.

Генеральным подрядчиком проекта выступило ООО «УК "КЭР-Холдинг"» по заказу ОАО «Генерирующая компания».

При реализации подобных инвестиционных проектов необходим тщательный анализ требуемых характеристик объекта, существующих рисков и рыночной конъюнктуры для определения наиболее подходящей стратегии работы с подрядчиками. Существуют три основных способа реализации инвестиционных проектов: традиционная модель, EPC и EPCM-контракты (рис. 2).

Для реализации проекта строительства ПГУ 220 МВт наиболее приемлемым был определён вариант использования EPC-контракта, поскольку величина инвестиций на реализацию проекта строительства данной ПГУ определилась Постановлением Правительства в виде удельных капитальных вложений и минимизацией рисков срыва сроков ввода новых объектов в эксплуатацию, рисков отклонений фактических стоимостных показателей от плановых.

Подготовка площадки под здание энергоблока ПГУ началось ещё на стадии начала работ в 2012 г. Для этого демонтировали часть производственных и административных зданий, сооружений станции, попавших в « пятно» застройки (рис. 3 и 4).

Ввод в эксплуатацию реконструированной части станции запланировали в IV квартале 2014 г.

За основное производственное здание был принят Главный корпус ПГУ высотой 40 м с двумя дымовыми трубами. Все объекты предусматривалось раз-



Рис. 3. Площадка строительства ПГУ 220 МВт на Казанской ТЭЦ-2



Рис. 4. Строительство ПГУ 220 МВт на Казанской ТЭЦ-2

местить в пределах существующей площадки ТЭЦ на месте демонтируемого старого оборудования (рис. 5).

В августе 2013 г., преодолев несколько тысяч километров морского и речного пути, одна из двух ГТУ поступила на территорию Казанской ТЭЦ-2. Полный комплект ГТУ № 1 общей массой около 853 т (203 единицы груза) из порта Антверпена (Бельгия) и далее через порт Санкт-Петербурга был доставлен баржой на причал в район Волжска (Марий Эл) в 80 км от Казани. Газовую турбину внушительных габаритов и массой 94 т перемещали по городу ночью в сопровождении автомобилей ДПС и инженерно-технических служб транспортной компании. Такие же меры предосторожности были предприняты и при прохождении к месту назначения генератора массой 140 т, находившегося на барже и который вскоре был доставлен в Казань. Установки газовой турбины и генератора на фундамент осуществлены в конце августа того же года.

Перед поставкой всё основное оборудование прошло успешное тестирование на заводах-изготовителях, где при участии генерального директора ОАО «Генерирующая компания» Р. М. Хазиева и его заместителя — технического директора И. Х. Гайфуллина испытали паровую турбину, два генератора паровых турбин и один генератор газовой турбины. Так же в ходе испытаний провели горячий пуск с достижением максимальной скорости вращения — 5230 об/мин. Монтаж котлов-утилизаторов и основного оборудования паровых и газовой турбины № 1, с обвязкой их трубопроводами завершили в декабре 2013 г.

Летом 2014 г. на строительную площадку Казанской ТЭЦ-2 из США доставили последний крупный блок оборудования — вторую дожимную компрессорную станцию (ДКС). 30 августа 2014 г. на площадке провели пуск ДКС и первый розжиг ГТУ № 1. Перед получением от микропроцессорного контроллера разрешения на пуск турбины, система полностью диагностировала состояние всех взаимосвязанных процессов, позволяя судить о полной готовности ГТУ № 1 к началу работы под нагрузкой. С этого момента пусконаладочные работы по первому блоку перешли в стадию горячей наладки и уже через две недели по электрической части пустили газовую турбину и синхронизировали генератор с сетью. ПГУ Казанской ТЭЦ-2 выдала свою первую

энергию. Затем начались паровые продувки котла-утилизатора при повышенных параметрах работы. ГТУ планировалось нагружать до уровня 15 МВт.

Всего при строительстве использовано 24 000 м<sup>3</sup> бетона, более 5000 т металлоконструкций, проложено 850 т технологических трубопроводов, порядка 200 км электрического кабеля и 350 км контрольно-измерительного кабеля.

#### Схема и принцип работы ПГУ Казанской ТЭЦ-2

На рис. 6 представлена принципиальная тепловая схема ПГУ.

Применённый в качестве парогенератора в парогазовом блоке горизонтальный двухконтурный котёл-утилизатор



Рис. 5. Главный корпус ПГУ 220 Казанской ТЭЦ-2

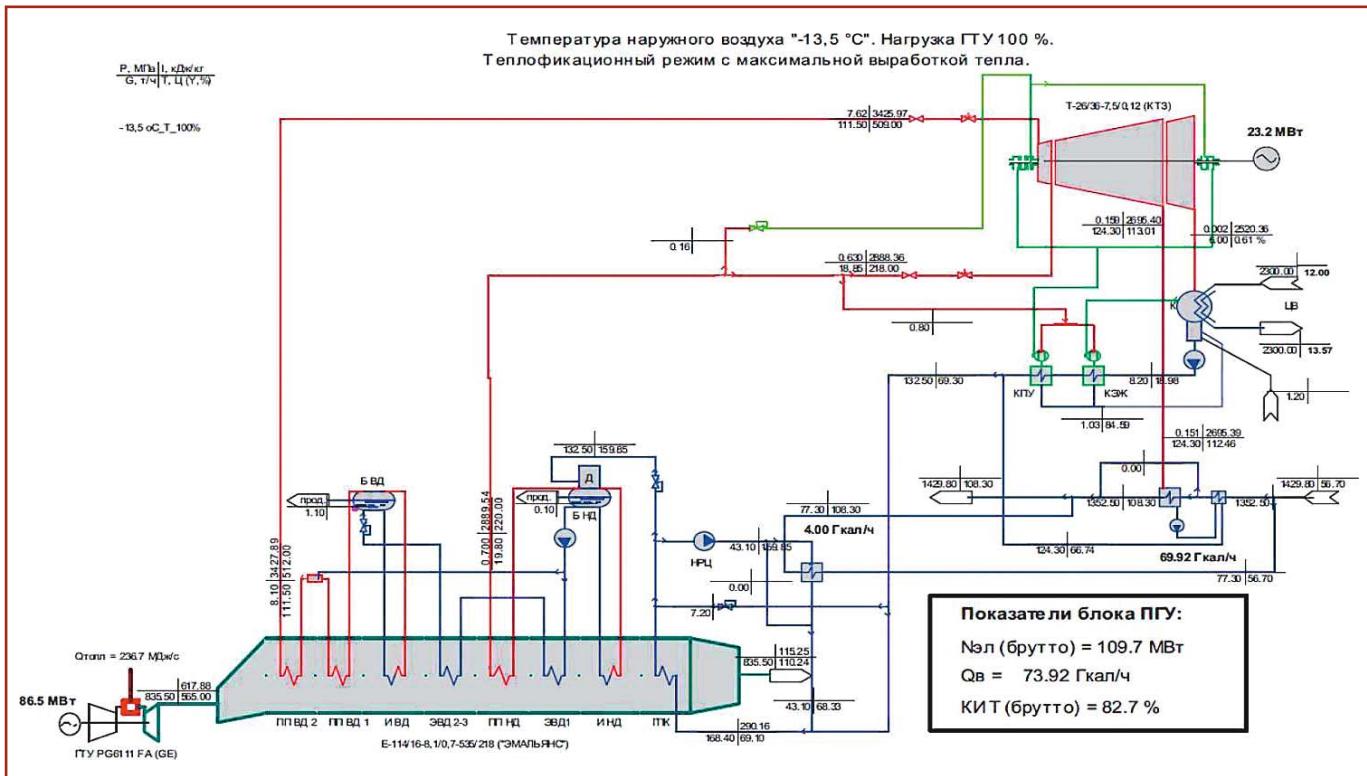


Рис. 6. Принципиальная тепловая схема ПГУ-110 Казанской ТЭЦ-2

марки (КУ) (E114/16-8,1/-0,7-535/218-3,8вв) вырабатывает пар высокого и низкого давления. Он спроектирован в ОАО «Инжиниринговый центр ЭМАльянс-БСКБУ (Барнаул) и изготовлен ТКЗ. Подогрев конденсата ведётся в газовом подогревателе конденсата (ГПК) также в КУ, а подогрев сетевой воды — в водоводяном теплообменнике (ВВТО). Генерация пара и подогрев конденсата в КУ осуществляется с использованием тепла горячих выхлопных газов газотурбинной установки (ГТУ) марки PG6111FA.

Турбина — одноцилиндровая, проточная часть состоит из 18 ступеней. Первая двухвенечная ступень — регулирующая. Камерой регулируемого отопительного отбора после 14-й ступени турбина делится на две части, в том числе на часть высокого давления (ЧВД), где парораспределение регулируется поворотной диафрагмой. Кроме того, в турбине предусмотрен промежуточный ввод пара в турбину (за 11-ю ступень) из коллектора низкого давления (КНД) КУ.

На входе 17-ступенчатого осевого компрессора установлен входной направляющий аппарат (ВНА) с регулируемыми лопатками, а для исключения его неустойчивой работы (помпажа) в компрессоре установлены клапаны перепуска воздуха. При этом лопатки ВНА закрыты до полного розжига камеры сгорания (режим минимального пропуска воздуха), а клапаны — открыты. Подогрев воздуха из компрессора осуществляется в шести выносных, индивидуальных и противоточных камерах сгорания. Фронтовое устройство в торцевой

крышке содержит шесть топливных горелок, а в центральной части находится узел для впрыска воды в целях уменьшения эмиссии окислов азота ( $\text{NO}_x$ ).

Турбина трёхступенчатая, с охлаждаемым ротором; охлаждение всех её трёх дисков ведётся принудительным протеканием потока холодного воздуха, забираемого из компрессора и радиально направленного через пространство между дисками турбины и статором в основной поток газа. Сопловые аппараты и рабочие лопатки первой и второй ступени также охлаждаются воздухом из компрессора. Лопатки первой ступени имеют конвективно-плёночное, второй и третьей ступени — конвективное охлаждение.

Выходящие из третьей ступени газы направляются в диффузор, в котором их скорость снижается, а давление восстанавливается. Кроме компрессора, турбина через редуктор вращает электрогенератор, используемый в качестве пускового оборудования (в режиме двигателя) и управляемый статическим преобразователем частоты (СПЧ). Пусковое оборудование страгивает турбину и разгоняет её до скорости, при которой разжигается топливовоздушная смесь. Вначале это происходит в двух камерах сгорания, затем горение перебрасывается в остальные четыре. Датчики контроля пламени подтверждают розжиг топлива на пульте управления. Пусковое оборудование остаётся включённым для разгона вала генератора до самоподдерживающей скорости. Перемещение лопаток ВНА из закрытого положения в рабочее и закрытие клапанов воздуха

на компрессоре означают, что газовая турбина достигла максимальной частоты вращения (режим холостого хода). Далее отключается СПЧ и генератор переводится из режима двигателя в режим генератора, частота вращения генератора синхронизируется с частотой электрической сети и проводится нагружение газовой турбины. Выхлопные газы из газовой турбины поступают в КУ, где вырабатывается пар высокого и низкого давления, который подаётся в паровую турбину. Теплофикационная паровая турбина КТ-36/33-7.5/0,12 номинальной мощностью 33 МВт и максимальной 36 МВт производства ОАО «Силовые машины» (ОАО «Калужский турбинный завод»).

#### Комплексное опробование и пуск ПГУ

1 октября 2014 г. согласно утверждённой Региональным диспетчерским управлением (РДУ) энергосистемы Республики Татарстан программы, началось комплексное опробование первого блока ПГУ. Программа предусматривала 10 автоматических пусков газовой турбины с последующим набором всем блоком (газовой и паровой турбинами) номинальной нагрузки 110 МВт. С такой нагрузкой блок непрерывно проработал 72 ч. 5 октября 2014 г. в 16 ч 15 мин получено подтверждение от РДУ об успешном прохождении комплексного опробования первого блока новой станции. В то же время велась подготовка к первому розжигу второй газовой турбины, которая завершилась 30 ноября 2014 г. комплексным опробованием второго блока ПГУ.

Таблица 1

Наименование показателя	Факт 2014 г.	Ожидаемое с ПГУ	Только ПГУ	Факт 2015 г.	Факт с ПГУ	Факт только ПГУ
Годовой отпуск электроэнергии, млн кВт · ч	700,4	1763,4	892,7	581,767	1677,80	1096,033
Годовой отпуск теплоэнергии, тыс. Гкал	1753,4	1930,9	0	1442,461	1705,557	263,096
Годовой расход условного топлива, тыс. т у. т.	454,9	748,4	231,8	390,773	683,680	292,907
Удельный расход условного топлива, г/кВт · ч	333,1	298,4	276,6	323,3	262,8	230,60



Рис. 7. Церемония запуска энергоблока ПГУ-220 МВт. Р. М. Хазиев, Р. Н. Минниханов, А. В. Новак

27 декабря состоялась церемония запуска нового энергоблока ПГУ 220 МВт на Казанской ТЭЦ им. В. И. Шибанова<sup>1</sup>. Почётными гостями мероприятия стали министр энергетики Российской Федерации Александр Новак, Президент Республики Татарстан Рустам Минниханов, премьер-министр Республики Татарстан Ильдар Халиков, председатель Комитета Государственной Думы РФ по энергетике Иван Грачёв, заместитель мэра в Правительстве Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства Марат Хуснуллин и др.

Почётные гости нажали на символическую кнопку (рис. 7), ознаменовав ввод объекта в эксплуатацию. Тем самым новый энергоблок ПГУ 220 МВт включён в перечень генерирующих объектов, с использованием которых осуществляется поставка мощности по ДПМ (Распоряжение Правительства РФ от 11.02.2014 г. № 178-р).

Руководители энергетики отметили, что строительство ПГУ представляет приоритетный и крупнейший проект для Казани и для Татарстана в целом за последние годы. Данный проект стал первым за последние десятилетия примером строительства энергомощностей на территории республики, началом новой истории его энергетики. Объём вложений в строительство составил свыше 11 млрд руб., а реализация позволила не только повысить мощности дефицитного энергоузла столицы республики, но и обеспечить потребителей более дешёвой электроэнергией. В результате ввода новых мощностей уменьшается дефицит электроэнергии в регионе, благодаря снижению себестоимости

производства сдерживается рост тарифов, на основе полученной прибыли реализуются важные инвестпроекты с организацией новых рабочих мест не только на время самого строительства, но и после ввода энергоблока в эксплуатацию. Доля Казанской ТЭЦ-2 в энергобалансе республики увеличилась до 20 – 30 %.

#### Технико-экономические показатели Казанской ТЭЦ-2 с вводом ПГУ 220 МВт

Благодаря сокращению объёмов отпуска энергии от существующей части ТЭЦ, лучших показателей работы ПГУ, увеличение потребления топлива по сравнению с текущим выросло немного при увеличении отпуска электроэнергии более чем в два раза (табл. 1).

Фактический выброс вредных веществ в атмосферу с дымовыми газами ТЭЦ-2 в 2015 г. увеличился по сравнению с 2014 г. в связи с вводом в эксплуатацию ПГУ 2200 МВт, но удельные величины выбросов сократились ввиду значительного увеличения выработки электроэнергии благодаря вводу в эксплуатацию новой энергоустановки (табл. 2).

Участие в реализации проекта технического перевооружения Казанской ТЭЦ-2 на базе строительства и внедрения ПГУ 220 МВт стало испытанием персонала и подрядных организаций на профессионализм, сплочённость команды, способностей специалистов решать задачи точно и в строго установленные сроки. Сложность строительства была обусловлена не только использованием новых для Татарстана технологий, но и прежде всего сжатыми сроками введения объекта в условия санкций западных стран в отношении России, проблемами организации работ на действующей ТЭЦ.

Совместными усилиями удалось создать прекрасную современную электростанцию, ресурс которой станет основой для дальнейшего развития столицы Татарстана. В ней заложены знания, опыт, частица души каждого работника ТЭЦ-2, живших эти два с половиной года данной стройкой.

**ГИРФАНОВ А. А., главный инженер  
ФАЗЛЕЕВ Р. Р., начальник ПТО  
АЛЕКСАНДРОВА Н. Н., инженер ПТО  
Казанская ТЭЦ-2  
Казань, Республика Татарстан  
AleksandrovaNN@ktec2.tatgencom.ru**

Удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу	2014 г.		2015 г.	
	План	Факт	План	Факт
Физические значения выброса: тыс. т	4,424	1,707	2,000	1,795
Удельные выбросы:				
г/кВт · ч	4,837	2,438	1,134	0,977
кг/Гкал	1,7	1,0	1,0	0,67
кг/т у. т.	6,2	3,75	2,67	2,18