

Турбогенераторы с воздушным охлаждением. ТФ-90Г-2УЗ – конкурентоспособный продукт для рынка газовых турбин

А. В. Артемов – заместитель директора по продажам НПО «ЭЛСИБ» ПАО

Сегодня доля стареющего и требующего замены оборудования ТЭС России стремительно растет. КПД электростанций в среднем оценивается ~36 %. Между тем в развитых странах этот показатель в среднем не опускается ниже 45 %. Рост эффективности энергосистем Запада связан именно с внедрением новых технологий, основу которых составляют газотурбинные установки (ГТУ) в составе ПГУ.

ПГУ – и это все о них...

В последние два десятилетия парогазовая технология стала самой популярной в мировой энергетике – на нее приходится до двух третей всех вводимых сегодня на планете генерирующих мощностей. Это обусловлено тем, что в парогазовых установках (ПГУ) энергия сжигаемого топлива используется в бинарном цикле – сначала в газовой турбине, а потом в паровой, а потому ПГУ эффективнее любых тепловых станций (ТЭС), работающих только в паровом цикле.

ПГУ обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными газовыми и угольными электростанциями:

- Более высоким КПД – до 60 %;
- По сравнению с возведением обычной паротурбинной электростанции более низкими капитальными затратами и сжатыми сроками строительства за счет блочной конфигурации ПГУ;
- Низким уровнем выбросов по сравнению с традиционными угольными станциями.

Старение оборудования и низкая его эффективность – два основных фактора, которые указывают на

необходимость внедрения нового технологического оборудования на отечественных станциях. При этом нужно учитывать, что в России доля газа в топливном балансе высока, более 60 %, и по планам развития в ближайшее десятилетие она существенно не снизится. Технология ПГУ также актуальна в силу наших суровых климатических условий, в которых комбинированное производство электроэнергии и тепла экономит ~30% топлива по сравнению с отдельным способом энергоснабжения городов.

На сегодняшний день приоритетными решениями при реконструкции действующих электростанций и строительства новых на базе ПГУ считаются:

- высокоэффективные газовые турбины большой мощности (110–180 МВт), ПГУ на их основе электрической мощностью 300–500 МВт на природном газе с КПД более 57 %;
- теплофикационные ПГУ на природном газе электрической мощностью свыше 100 МВт на базе ГТУ мощностью от 50 МВт с высоким электрическим КПД во всем диапазоне рабочих нагрузок.

Для современных маневренных энергетических установок с приво-

дом как от газовых, так и от паровых турбин в большинстве случаев применяются турбогенераторы с воздушным охлаждением. Исполнение с воздушным охлаждением упрощает конструкцию турбогенератора по сравнению с другими системами охлаждения, что в итоге повышает надежность, снижает затраты на эксплуатацию и ремонт, сокращает сроки монтажа, уменьшает номенклатуру необходимых запчастей.

Для удовлетворения нужд энергетики для паровых и газовых турбин на НПО «ЭЛСИБ» была освоена линейка турбогенераторов серии ТФ с воздушным охлаждением (косвенное охлаждение обмотки статора и непосредственное охлаждение обмотки ротора), табл. 1.

Воздушные машины нужны, как воздух...

Необходимо отметить, что в советский период основную часть номенклатуры НПО «ЭЛСИБ» составляли турбогенераторы серии ТВФ с форсированной водородной системой охлаждения номинальной мощностью 60...120 МВт. В части создания, изготовления турбогенераторов с газовой системой охлаждения завод занимал лидирующие позиции в стране. Именно эта продукция принесла широкую известность НПО «ЭЛСИБ» – суммарная установленная мощность поставленных на теплоэлектростанции турбогенераторов серии ТВФ превысила 63 ГВт (установленный парк свыше 800 шт.). Применение водорода в качестве охлаждающей среды в турбогенераторах позволяло создавать компактные, высокоэффективные, надежные и долговечные машины.

Именно по этой причине при разработке турбогенераторов с воздушным охлаждением были использованы конструктивные решения, проверенные в ходе длительной эксплуатации водородных машин. Турбогенераторы серии ТФ имеют закрытое исполнение, охлаждение воздухом осуществляется по замкнутому контуру. Учитывая более высокую плотность воздуха по сравнению с водородом, для обеспечения низкого уровня вибрации элементов конструкции от воздействия аэродинамических сил была сохранена компоновка турбогенератора с водородным охлаждением.

Основные технические решения, реализованные при проектировании турбогенераторов серии ТФ:

- Корпус – жесткий, прочный, герметичный, цилиндрической формы;
- Расположение воздухоохладителей горизонтальное;
- Система охлаждения сердечника статора – многоструйная, наиболее простая и эффективная, мало подверженная засорению.
- Изоляция обмотки статора изготавливается на основе современных лент с улучшенными диэлектрическими и теплофизическими свойствами.
- Изоляция стержней терморезистивная типа «Монолит» класса нагревостойкости F, допустимые превы-



Фото 1. Турбогенератор ТФ-63-2У3, маизал Томской ГРЭС-2

Номенклатура турбогенераторов с воздушным охлаждением		Таблица 1																	
МВт	6	8	12	16	25	32	40	45	50	63	80	90	110	115	125	130	160	220	
газ																			
пар																			

Текущая номенклатура
 Перспективы освоения

шения температур по классу нагревостойкости В по ГОСТ 533-2000.

- Циркуляция воздуха в корпусе турбогенератора осуществляется вентиляторами, установленными на валу с двух сторон бочки ротора.
- Циркуляция воды в воздухоохладителях осуществляется насосами, расположенными вне турбогенератора.
- В камерах уплотнения вала обеспечивается избыточное давление для предотвращения попадания загрязненного воздуха извне внутрь корпуса генератора. Восполнение утечек воздуха из турбогенератора осуществляется с помощью системы наддува, оснащенной специальными фильтрами.
- Опорные подшипники выносные стоячкового типа, маслоснабжение от системы смазки турбины. При сопряжении турбогенераторов с паровыми турбинами подшипник со стороны турбины поставляется турбинным заводом. При сопряжении турбогенераторов с газовыми турбинами подшипник изготавливается НПО «ЭЛСИБ».
- Щеточно-контактный аппарат для подвода тока возбуждения к контактному кольцу ротора размещается за подшипником на стороне выводов статора.
- При сопряжении с газовыми турбинами турбогенераторы допускают работу в режиме двигателя для разворота газовой турбины от тиристорного пускового устройства.
- Система возбуждения турбогенераторов на выбор заказчика – статическая, тиристорная, выполненная по схеме самовозбуждения или бесщеточная.

Обмотка статора турбогенераторов с воздушным охлаждением выполняется по классической технологии вакуумно-нагнетательной пропитки изоляции и запечки стержней обмотки статора с последующей укладкой в пазы статора. Применение именно этой технологии с отдельной подготовкой и монтажом стержней обмотки статора обеспечивает высокую ремонтпригодность турбогенератора и дает возможность выполнения капитального ремонта непосредственно в условиях станции в течение всего нормативного срока жизни машины (40 лет). Другие производители турбогенераторов применяют сухую изоляцию стержней с последующей вакуумно-нагнетательной пропиткой и запеканием статора с обмоткой по технологии Global VPI, что делает обмотку статора неремонтпригодной в условиях станции.

С 1996 г. НПО «ЭЛСИБ» изготовило и поставило на теплоэлектростанции 54 турбогенератора с воздушным охлаждением (география поставок – Россия, Казахстан, Белоруссия, Киргизия). Первые образцы турбогенераторов ТФ прошли стендовые испытания по расширенным программам.

Турбогенераторы серии ТФ могут устанавливаться не только при строительстве новых блоков, но и на существующие фундаменты турбогенераторов с водородным охлаждением, выработавших свой ресурс, при незначительной доработке фундамента. Практика показывает, что в большинстве случаев НПО «ЭЛСИБ» может предложить к поставке и установке генератор с повышением единичной мощности. Так турбогенераторы ТФ-80-2У3, если параметры турбины позволяют нести мощность 80 МВт, могут быть использованы при замене выработавших свой ресурс генераторов ТВ-60-2, ТВФ-60-2, ТВФ-63-2. Таким образом, энергетики при такой модернизации могут повысить мощность и эффективность работы энергоблока без существенных затрат на капитальное строительство, расширить имеющиеся запасы мощности на турбинах.

Турбогенераторы для газовых турбин: как обстоят дела...

За последнее десятилетие в энергетике России появились новые современные парогазовые и газотурбинные мощности, по оценкам экспертов – это свыше 23 ГВт установленной электрической мощности (~16% выработки всех ТЭС России). При этом мощность парка газовых турбин иностранного производства составляет более 15 ГВт. В основном это проекты, реализованные генерирующими компаниями в рамках исполнения своих обязательств по ДПМ. Сегодня установленная и введенная в эксплуатацию генерирующая мощность в российской энергетике позволяет полностью удовлетворять спрос российских потребителей в выработке электроэнергии.

Но не нужно забывать – общая установленная мощность действующих ТЭС составляет около 70 ГВт с теп-

лофикационной нагрузкой в среднем 50 %. В их числе станции, работающие на природном газе, оборудование которых отработало по 40–50 лет. Эти мощности необходимо будет менять в ближайшем будущем, в течение ближайших 10–20 лет.

У отечественного энергомашиностроения в части удовлетворения спроса и освоения производства газовых турбин есть два варианта:

- освоение производства газовых турбин, соответствующих уровню мировых образцов;
- локализация производства в формате СП с зарубежными компаниями.

В части развития сотрудничества с отечественными производителями газовых турбин у НПО «ЭЛСИБ» есть опыт поставок турбогенераторов 63 и 16 МВт. Для дорабатываемой газовой турбины ГТЭ-110М НПО «Сатурн» у НПО «ЭЛСИБ» есть техническое предложение турбогенератора номинальной мощностью 115 МВт. Работа НПО «Сатурн» по доводке ГТЭ-110М для большой энергетики РФ является весьма актуальной, так как в случае успеха эта газовая турбина станет типовым отечественным альтернативным решением для ПГУ (ГТУ).

НПО «ЭЛСИБ» участвует в программе локализации производства и импортозамещения совместно с ООО «Русские газовые турбины» (ООО «РТГ») и ООО «ИНТЕР РАО-Инжиниринг».

24.10.2014 г. ООО «РТГ», совместное предприятие GE, Группы «Интер РАО» и ОАО «Объединенная двигателестроительная корпорация» (ОДК, входит в Госкорпорацию Ростех), открыло в Рыбинске Ярославской области завод по производству, продаже и обслуживанию газовых турбин 6FA (6F.03) мощностью 77 МВт (планируемый объем выпуска – до 14 турбин в год). Доля GE в СП ООО «РТГ» составляет 50 %, Группе «ИНТЕР РАО ЕЭС» и УК «ОДК» принадлежит по 25 %.

ООО «РТГ» в 2014-2015 гг. провело оценку возможностей российских поставщиков (ПАО «Силловые машины», ООО «Электротяжмаш-Привод», НПО «ЭЛСИБ») по комплектации газовых турбин 6FA турбогенераторами отечественного производства. С этой целью ООО «РТГ» совместно с представителями GE провело несколько аудитов российских предприятий на предмет выявления оптимального поставщика для комплектации газовых турбин 6FA. В итоге в 2015 г. поставщиком турбогенератора для проектов ООО «РТГ» с лучшим технико-коммерческим предложением признано НПО «ЭЛСИБ» ПАО. В рамках XIX Петербургского Международного экономического форума ООО «РТГ» и НПО «ЭЛСИБ» подписали меморандум о взаимопонимании о проведении квалификации и организации поставок генераторов мощностью 90 МВт для турбин 6FA, локализованных на предприятии СП в Рыбинске. В состав поставки одного комплекта ТФ-90Г-2У3 входят турбогенератор, статическая система возбуждения, трубная обвязка, шумозащитный кожух и оборудование для монтажа на площадке электростанции.

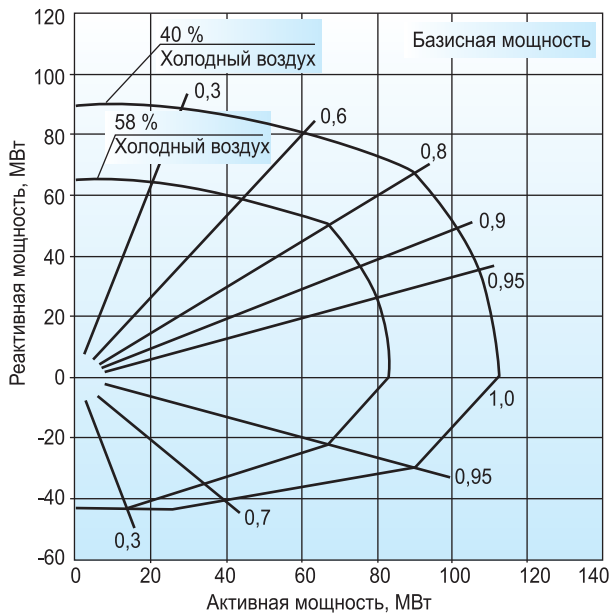


Рис. 2. Диаграмма мощности ТФ-90Г-2УЗ при номинальных параметрах

ООО «РГТ» участвовало и в ноябре 2015 г. признано победителем в конкурсе, проводимом ООО «ИНТЕР РАО-Инжиниринг», на поставку восьми газотурбинных установок 6FA в комплекте с турбогенераторами ТФ-90Г-2УЗ производства НПО «ЭЛСИБ» для нужд ООО «Калининградская генерация». Это масштабный проект по строительству электростанций ПГУ 440 МВт в Калининграде (Прегольская ТЭС), двух ГТУ 160 МВт в Советске (Талаховская ТЭС) и двух ГТУ 160 МВт в Гусеве (Маяковская ТЭС). Также для ТЭС на угольном топливе в Светловском городском округе (Приморская ТЭС) ОАО «Уральский турбинный завод» признано победителем в конкурсе на поставку трех паровых турбоагрегатов по 65 МВт в комплекте с турбогенераторами ТФ-65-2УЗ производства НПО «ЭЛСИБ». Суммарно к 2020 г. по перечисленным проектам в Калининградской области ожидается ввод 1069 МВт генерирующих мощностей, из них на долю генераторов НПО «ЭЛСИБ» ПАО приходится 909 МВт (85% новых мощностей) региона.

Основные технические параметры турбогенератора ТФ-90Г-2УЗ для газовой турбины 6FA приведены в табл. 2 и на рис. 2.

В августе 2016 г. в НПО «ЭЛСИБ» были успешно завершены комплексные испытания турбогенератора ТФ-90Г-2УЗ № 1 (фото 2). Ряд испытаний (механические, электрические и тепловые), а также вибрационные и акустические исследования были проведены в присутствии представителей заказчика турбогенераторов (ООО «Русские Газовые Турбины») и экспертов из компании GE и ООО «ИНТЕР РАО-Инжиниринг».

Результаты испытаний подтвердили полное соответствие параметров техническому заданию, нормативно-техническим и регламентирующим документам.

Основные технические характеристики ТФ-90Г-2УЗ		Таблица 2
Параметры	Номинальный режим	Длительно-допустимый режим
Полная мощность, МВА	112,5	117,7
Активная мощность, МВт	90	100
Номинальное напряжение, В	10 500	
Ток, А	6186	6469
Коэффициент мощности	0,8	0,85
Частота вращения, об/мин	3000	
Частота, Гц	50	
Соединение фаз обмотки статора	YY	
Отношение короткого замыкания, о.е., не менее*	0,5	не нормируется
Переходное индуктивное сопротивление, X_d' , не более, о.е.	0,35	не нормируется
Статическая перегружаемость, о.е. не менее	1,7	не нормируется
КПД, %	98,3	не нормируется
Номинальный ток возбуждения (расчетное значение), А	1345	1350
Номинальное напряжение возбуждения при 100 °С (расчетное значение), В	220	221



Фото 2. Турбогенератор ТФ-90Г-2УЗ на испытательном стенде

– Можно с уверенностью сказать, что параметры нового турбогенератора находятся на высоком уровне. Освоение производства турбогенераторов для газовых турбин 6FA расширяет возможности предприятия и позволяет занять новую нишу, а именно поставлять эффективное оборудование на рынок газотурбинных установок. НПО «ЭЛСИБ» готово к освоению и серийному производству турбогенераторов для всего мощностного ряда газовых турбин, необходимых для развития энергетики РФ», – Дмитрий Безмельницын, генеральный директор НПО «ЭЛСИБ» ПАО.

