

Турбогенератор ТФ-130-2УЗ с воздушным охлаждением — конкурентоспособный продукт для рынка паровых турбин

В декабре 2020 г. на научно-производственном объединении «ЭЛСИБ» успешно завершены комплексные испытания головного турбогенератора ТФ-130-2УЗ с воздушным охлаждением мощностью 130 МВт. Полученные результаты испытаний подтвердили полное соответствие параметров турбогенератора техническому заданию, нормативно-техническим и регламентирующим документам. Ряд испытаний — механические, электрические и тепловые исследования были проведены в присутствии представителей Заказчика.

По контракту с АО «Уральский турбинный завод» НПО «ЭЛСИБ» поставляет два турбогенератора ТФ-130-2УЗ для Автовской ТЭЦ ООО «ТГК-1». АО «Уральский турбинный завод» является интегратором в проекте — комплектным поставщиком оборудования. В рамках программы ДПМ-2 на Автовской ТЭЦ будут модернизированы две теплофикационные турбины Т-100 и Т-97 с повышением мощности, поставлены турбогенераторы ТФ-130-2УЗ с тиристорными системами возбуждения. Автовская ТЭЦ — крупнейший производитель электрической и тепловой энергии в юго-западной части Санкт-Петербурга. Проводимая модерниза-

ция электростанции положительно скажется на электро- и теплоснабжении промышленных предприятий, жилых и общественных зданий Адмиралтейского, Московского, Кировского и Красносельского районов города.

За последние 25 лет для паровых и газовых турбин НПО «ЭЛСИБ» освоены выпуск широкой линейки турбогенераторов с воздушным охлаждением (косвенное охлаждение обмотки статора и непосредственное охлаждение обмотки ротора) [табл. 1].

Воздушное охлаждение упрощает конструкцию турбогенератора, что в определённой мере повышает его надёжность, снижает затраты на эксплуатацию и ремонт, а также сокращает сроки монтажа, уменьшает номенклатуру необходимых запчастей.

Концепция, принятая за основу, при разработке турбогенераторов с воздушным охлаждением — применение конструктивных решений, положительное зарекомендовавших себя и проверенных при длительной эксплуатации водородных машин. При проектировании учитывался тот фактор, что воздух имеет большую плотность по сравнению с водородом. Турбогенераторы серии ТФ имеют закрытое исполнение,

НПО «ЭЛСИБ» ПАО — одно из крупнейших электромашиностроительных предприятий России в области проектирования и производства турбогенераторов, гидрогенераторов, асинхронных и синхронных высоковольтных электродвигателей, систем возбуждения генераторов (www.elsib.ru).

охлаждение воздухом осуществляется по замкнутому контуру.

За период с 1996 г. НПО «ЭЛСИБ» изготовлено и поставлено на теплоэлектростанции 79 турбогенераторов с воздушным охлаждением. Головные образцы турбогенераторов серии ТФ были подвергнуты стендовым испытаниям по расширенному программ.

Основные технические решения, реализованные при проектировании турбогенератора ТФ-130-2УЗ:

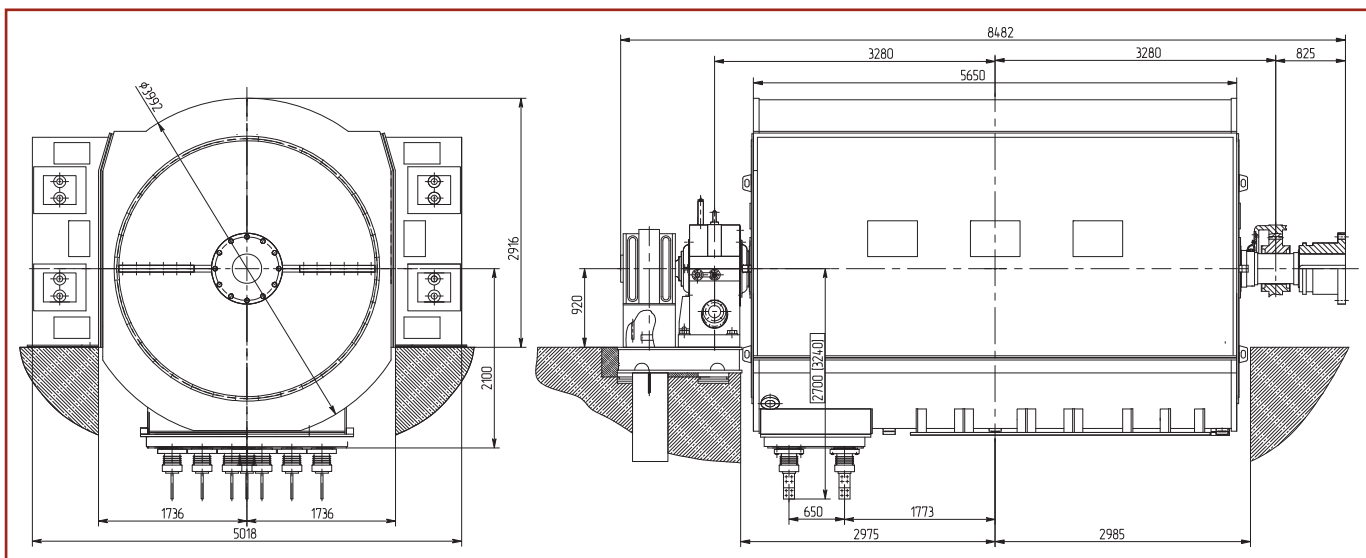
- Корпус — жёсткий, прочный. Для придания жёсткости, разделения зон холодного и горячего воздуха и крепления сердечника внутри корпуса свариваются поперечные и продольные стенки.

- Расположение воздухоохладителей — горизонтальное. Воздухоохладители вынесены из корпуса статора и располагаются горизонтально в коробчатых кожухах, которые присоеди-

Таблица 1

Основные параметры турбогенераторов серии ТФ

Параметр	Т-6	Т-12	Т-16	ТФ-32	ТФ-45	ТФ-50	ТФ-63	ТФ-65	ТФ-70Н	ТФ-80	ТФ-90	ТФ-110	ТФ-125	ТФ-130	ТФ-160	ТФ-220
1. Активная мощность, МВт	6	12	16	32	45	50	63	65	70	80	90	110	125	130	160	220
2. Полная мощность, МВА	7,5	15	20	40	56,25	62,5	78,75	81,25	87,5	100	112,5	137,5	156,3	152,9	188,2	258,8
3. Коэффициент мощности	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85
4. Напряжение, кВ	10,5/ 6,3	10,5	10,5/ 6,3	10,5/ 6,3	10,5/ 6,3	10,5/ 6,3	10,5/ 6,3	10,5/ 6,3	6,3	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	15,75	15,75
5. Ток статора, А	687/ 412	825	1100/ 1833	2200/ 3670	3093/ 5155	3437/ 5728	4330/ 7220	4468/ 7446	8019	5500	6186	7560	8590	8410	6907	9488
6. Схема соединения обмотки статора	Y	Y	Y/∇	Y/∇	Y/∇	Y/∇	YY/ ∇∇	YY/ ∇∇	YY	YY	YY	YY	YY	YY	YY	YY
7. Частота вращения, об/мин	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
8. КПД, %	97,7	97,6	97,85	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,3	98,3	98,3	98,4	98,4	98,4	98,5	98,5
9. Система возбуждения	БСВ	БСВ	БСВ	БСВ/ СТС	СТС	СТС	СТС/ БСВ	СТС/ БСВ	СТС	СТС	СТС	СТС	СТС	СТС	СТС	СТС
10. Год освоения	2018	2018	2005	2003	2012	1996	1998	2010	2017	2009	2016	2003	2005	2020	2010	Проект



Турбогенератор ТФ-130-2У3, габаритно-присоединительные размеры

няются с боков к корпусу статора. В каждом коробе размещаются два охладителя.

- Система охлаждения сердечника статора — многоструйная, наиболее простая и эффективная, мало подверженная процессу засорения.

- Изоляция обмотки статора изготавливается на основе современных лент с улучшенными диэлектрическими и теплофизическими свойствами.

- Изоляция стержней — терморезистивная типа «Монолит» класса нагревостойкости F, допустимые превышения температур по классу нагревостойкости В по ГОСТ IEC 60034-3-2015.

- Циркуляция воздуха в корпусе турбогенератора осуществляется пропеллерными вентиляторами, установ-

ленными 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 проводится с помощью системы наддува, оснащенной специальными фильтрами.

- Опорные подшипники — выносные стоякового типа, маслоснабжение — от системы смазки турбины.

- Контактный щеточный аппарат для подвода тока возбуждения к контактным кольцам ротора размещается за

подшипником на стороне выводов статора.

- Система возбуждения турбогенераторов, на выбор заказчика — статическая, тиристорная, выполненная по схеме самовозбуждения или бесщёточная.

Следует отметить, что обмотка статора турбогенераторов НПО «ЭЛСИБ» с воздушным охлаждением выполняется по классической технологии вакуум-

Основные значения параметров турбогенератора ТФ-130-2У3

Наименование параметра	Величина параметра при номинальной нагрузке
Полная мощность, кВА	152 940
Активная мощность, кВт	130 000
Напряжение, В	10 500
Ток статора, А	8410
Коэффициент мощности	0,85
Частота вращения, мин ⁻¹	3000
Частота, Гц	50
Коэффициент полезного действия, %	98,42
Ток ротора (расчётное значение), А	1370
Напряжение ротора (расчётное значение при 100 °С), В	288
Число фаз обмотки статора	3
Соединение фаз	звезда
Число параллельных ветвей обмотки статора	2
Число выводов	9
Температура охлаждающего воздуха на входе в генератор, °С	
– не более	40
– не менее	20
Температура охлаждающей воды на входе в воздухоохладитель, °С	
– номинальная	32
– минимальная	12
Расход охлаждающей воды через воздухоохладители, м ³ /ч	360
Гидравлическое сопротивление одного воздухоохладителя, кПа	160
Расход масла на один подшипник, л/мин	150
Давление масла в подшипнике, избыточное, кПа	29 (49)
Наименьшая температура масла на входе в подшипник, °С	35
Масса, т:	
– генератор	182
– статор (монтажная масса)	126
– ротор	36

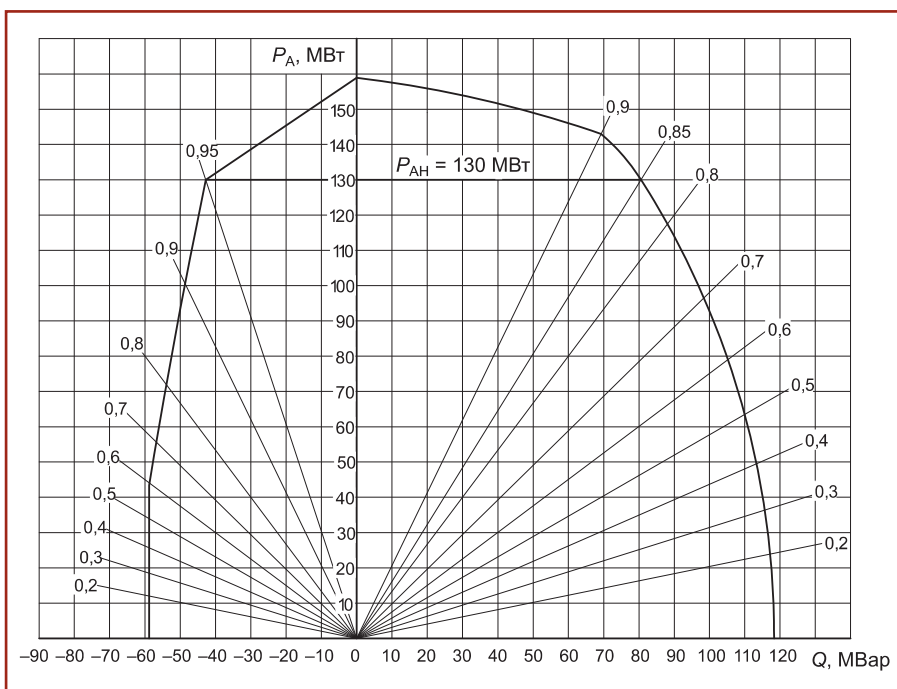


Диаграмма мощности турбогенератора ТФ-130-2 (при номинальных напряжении, частоте и параметрах охлаждающих сред)



Турбогенератор ТФ-130 на испытательном стенде

Таблица 2

Характеристики теплового состояния турбогенератора ТФ-130-2У3

Параметр	Результат испытания	Допустимое значение
Температура обмотки статора, °С Метод термопреобразователей сопротивления (максимальная)/ метод сопротивления*, при температуре охлаждающего воздуха 40°С	83,5/114,6	125
Температура сердечника статора, °С Метод термопреобразователей сопротивления (максимальная), при температуре охлаждающего воздуха 40°С	86,1	120
Температура обмотки ротора, °С Метод сопротивления, при температуре охлаждающего воздуха 40°С	114,2	120
Уровень вибрации сердечника статора, мкм	46	60

* Используемые методы: метод термопреобразователей сопротивления — измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления, заложённых в конструкцию обмотки статора; метод сопротивления — расчёт температуры по измеренному сопротивлению обмотки.

но-нагнетательной пропитки изоляции и запечки стержней обмотки статора с последующей укладкой в пазы статора. Применение именно такой технологии с *раздельной подготовкой и монтажом стержней обмотки статора* обеспечивает высокую ремонтпригодность турбогенератора и даёт возможность выполнения капитального ремонта *непосредственно* в условиях станции в течение всего нормативного срока жизни машины (40 лет). Опыт эксплуатации на ТЭС России за последнее десятилетие показал явное преимущество применения классической технологии вакуумно-нагнетательной пропитки обмотки статоров турбогенераторов по сравнению с применением в конструкции генераторов сухой изоляции стержней с последующей вакуумно-нагнетательной пропиткой и запеканием статора с обмоткой по технологии «Global VPI». Применение «Global VPI» фактически делает обмотку статора турбогенерато-

ра неремонтопригодной в условиях станции.

Большое влияние на надёжность работы и срок жизненного цикла оказывает тепловое состояние турбогенератора. Как видно в табл. 2, турбогенератор ТФ-130-2У3 имеет тепловые запасы, которые обеспечивают надёжную работу и заявленную перегрузочную способность машины. На тепловое состояние генератора существенным образом влияют:

- величина абсолютной температуры обмоток статора и ротора, которая является определяющей с точки зрения продолжительности жизни изоляции обмоток и обусловлена классом нагревостойкости изоляции;
- величина температурного перепада между медью проводников в обмотке статора и температурой охлаждающего воздуха, которая характеризует термомеханические процессы,

действующие на корпусную изоляцию обмотки статора.

Представленные в табл. 2 результаты достигнуты за счёт внедрения технических решений по улучшению передачи тепла от медных проводников обмотки статора к воздуху:

- уменьшения толщины корпусной изоляции обмотки статора при обеспечении электрической прочности;
- повышения коэффициента теплопроводности изоляции;
- повышения эффективности охлаждения турбогенератора.

Уровень вибрации сердечника статора турбогенератора — 46 мкм, при допустимом уровне вибрации 60 мкм.

Показатели надёжности и долговечности турбогенератора: полный назначенный срок службы — 40 лет; период между капитальными ремонтами — 8 лет, при этом первый ремонт с выемкой ротора проводится через 1 год после сдачи турбогенератора в эксплуатацию; коэффициент готовности — не менее 0,996; наработка на отказ — 22 000 ч.

Сегодня в России общая установленная мощность действующих городских ТЭЦ с теплофикационной нагрузкой составляет около 70 ГВт. Жизненный цикл турбогенератора по ГОСТ в настоящее время — 40 лет. До 1985 г. нормативный срок службы турбогенераторов составлял всего 25 лет. На теплоэлектростанциях, введённых в работу в конце прошлого столетия, сроки эксплуатации турбогенераторов типа ТВ2-100, ТВФ-100, ТВФ-110, ТВФ-120 с водородным охлаждением значительно превышают назначенные нормативные сроки службы и в большинстве случаев их необходимо заменять новым оборудованием. Габаритно-присоединительные размеры ТФ-130-2У3 позволяют обеспечить установку генератора на существующие фундаменты перечисленных машин.

Турбогенератор ТФ-130-2У3 — очередной шаг в расширении номенклатуры генераторов НПО «ЭЛСИБ» с воздушным охлаждением. Данные машины предназначены для широкого применения, как при реализации проектов модернизации, имеющих почтенный возраст турбоагрегатов с повышением мощности, так и при строительстве новых энергоблоков теплоэлектростанций.

А. В. ЧИРИКОВ,
технический директор
А. О. МОЗГОВ,
заместитель
главного конструктора
по проектированию
турбогенераторов
А. В. АРТЁМОВ,
заместитель директора
по продажам
ПАО «ЭЛСИБ», г. Новосибирск
elsib@elsib.ru
www.elsib.ru