

ТУРБОГЕНЕРАТОР ЗАВОДА «ЭЛЕКТРОСИЛА» АО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ» ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

Авторы: Гришин Н.В., Железняк В.Н., Филин А.Г., Доржиева Б.С.

АО «Силовые машины» завод «Электросила» - крупнейшее отечественное электромашиностроительное предприятие, занимающее ведущее положение по направлению в России и экспортирующее своё оборудование в страны ближнего и дальнего зарубежья. Номенклатура продукции, выпускаемой Заводом, многообразна и постоянно расширяется; основной производственный профиль - крупное электромашиностроение. В конструкторских бюро и исследовательских лабораториях Завода постоянно ведутся работы по совершенствованию конструкции электрических машин. Для всех турбогенераторов разработаны единые принципы проектирования основных узлов, что позволяет максимально отработать конструкцию, осуществить подконтрольную эксплуатацию турбогенератора и наладить серийное производство с большой унификацией узлов и использованием технологических приспособлений, обеспечить простоту обслуживания и высокую надежность в эксплуатации.

Завод «Электросила» имеет значительный опыт поставки судового электрооборудования. Среди крупных машин на сегодняшний день заводом поставлены 73 корабельных турбогенератора мощностью от 2 до 9 МВт (в том числе на атомных ледоколах «Сибирь», «Арктика», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», «50 лет Победы»), а также два генератора для плавучей АЭС «Академик Ломоносов» мощностью 35 МВт (см. рисунок 1). Всё обо-

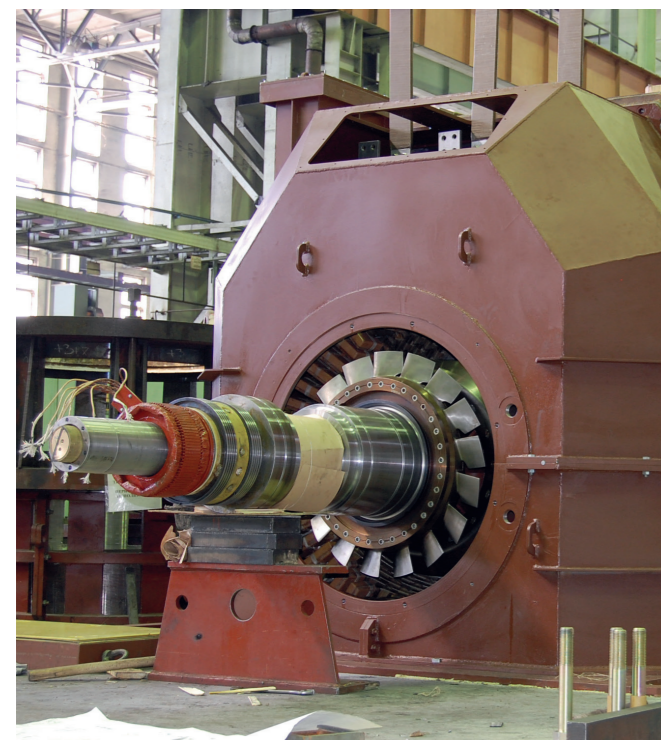


Рисунок 1. Сборка турбогенератора плавучей АЭС на испытательном стенде

Наименование параметра	Значение параметра
Полная мощность, кВ·А	46250
Активная мощность, кВт	37000
Коэффициент мощности, о.е.	0,8
Напряжение, В	10500
Ток статора, А	2543
Частота, Гц	50
Частота вращения, об/мин	3000
Коэффициент полезного действия, %	98,2
Степень защиты генератора по ГОСТ IEC 60034-5-2011	IP44
Охлаждающая вода в воздухоохладителях:	
Расход (на четыре воздухоохладителя), м ³ /ч	120
Температура поступающей воды, °С:	
Температура охлаждающего воздуха, °С:	18..40
Класс нагревостойкости изоляции	F
Система возбуждения	Бесщеточная диодная

рудование полностью соответствует требованиям РМРС и правилам в области использования атомной энергии.

Для перспективных судов на основе опыта реализованных проектов разработан трехфазный синхронный турбогенератор мощностью 37 МВт, имеющий воздушное охлаждение и относящийся к серии ТФ, включающую хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации машины мощностью от 1 до 200 МВА. Данный турбогенератор предназначен для выработки электроэнергии с целью обеспечения питанием системы электродвижения и потребителей собственных нужд ледокола при непосредственном соединении с паровой турбиной, соответствует требованиям ГОСТ Р 70940-2023, ГОСТ IEC 60034-3-2015 и Морского Регистра РФ. Вид климатического исполнения - ОМ, категория размещения - 5 по ГОСТ 15150-69. Основные технические характеристики указанного генератора представлены в таблице.

Генератор представляет собой синхронную электрическую машину с неявнополюсным ротором. Он состоит из неподвижной части - статора, включающего в себя сердечник и обмотку, присоединяемую к внешней сети

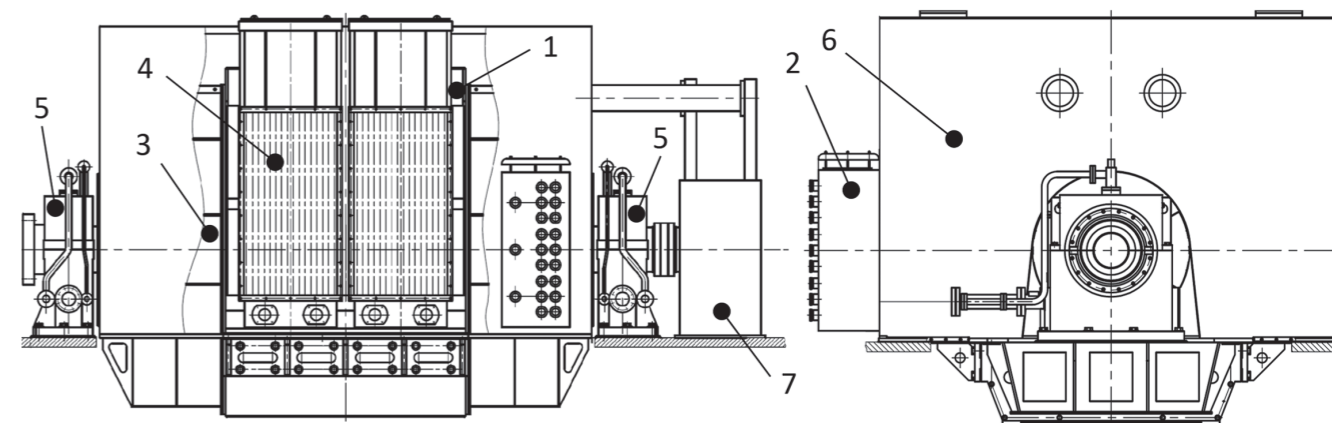


Рисунок 2. Общий вид турбогенератора:
1 - статор; 2 - выводы; 3 - ротор; 4 - воздухоохладители; 5 - опорный и опорно-упорный подшипники; 6 - кожух статора; 7 - возбудитель.

через выводы, установленные сбоку, и вращающейся части - ротора, на котором размещена обмотка возбуждения, питаемая постоянным током от бесщеточного возбудителя, расположенного на валу ротора со стороны, противоположной турбине (см. рисунок 2).

Для отвода потерь, выделяющихся в обмотках статора и ротора, в магнитопроводах (в сердечнике статора и в валу ротора) предусмотрено непосредственное воздушное охлаждение обмотки ротора и сердечника статора, и косвенное - обмотки статора. Генератор имеет замкнутый цикл вентиляции. Необходимый расход и циркуляция охлаждающего воздуха обеспечивается вентиляторами и самонапорным действием ротора. Под действием вентиляторов, установленных на валу ротора, охлаждающий воздух, двигаясь в осевом направлении, распределяется на три потока: в зазор между статором и ротором, а также в камеру лобовых частей обмотки статора (охлаждает обмотку и сердечник статора); в зазор между центрирующим кольцом ротора и валом (охлаждает обмотку ротора); циркуляция под действием вентилятора со стороны возбудителя по перепускным трубам между полостью статора генератора и полостью кожуха возбудителя, обеспечивая охлаждение возбудителя. На боковых сторонах корпуса статора генератора закреплены воздухоохладители, отвод тепловых потерь из которых осуществляется с помощью охлаждающей воды, циркулирующей через них под воздействием насосов, установленных вне генератора.

Статор генератора опирается на опорную раму турбоагрегата с помощью лап и закрыт кожухом, который служит одновременно для организации принятой схемы вентиляции генератора и для снижения шума, издаваемого генератором. Для исключения «подсоса» воздуха и пыли из окружающей атмосферы в зонах лабиринтных уплотнений создается избыточное давление за счет напорного действия вентиляторов генератора.

Подшипники генератора имеют изоляцию от фундамента, трубопроводов и экранов кабелей КИП для предотвращения подшипниковых токов. Применена принудительная смазка подшипников, питаемая от системы смазки турбины.

Возбуждение генератора осуществляется от бесщётного возбудителя со встроенным подвозбудителем, сочлененного с валом генератора, состоящего из обра-

щенного трехфазного синхронного генератора и вращающегося выпрямителя, соединенного с токоподводом ротора генератора.

Обеспечение показателей надёжности высоковольтных турбогенераторов с воздушным охлаждением неразрывно связано с конструкцией системы изоляции обмотки статора, обеспечивающей электрическую прочность изделия, которая включает, помимо корпусной изоляции, полупроводящие покрытия и пазовые уплотнения. Известно, что воздействие электрического поля на систему изоляции статора проявляется в возникновении и развитии электроразрядных процессов: внутренних частичных разрядов, пазовых частичных разрядов, а также виброискровых разрядов, существенно влияя на ресурс электрической машины [1]. Завод «Электросила» АО «Силовые машины» проводит направленную работу по изучению механизма этих процессов, разработке новых электроизоляционных материалов и полупроводящих покрытий с улучшенными свойствами, обеспечивающих надежность оборудования на всём сроке эксплуатации [2-3]. Повышенная ремонтпригодность статора турбогенератора обеспечивается применением современных технологий и регламента технического обслуживания, обоснованного опытом эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маннанов Э.Р., Костельов А.М., Филин А.Г., Железняк В.Н. Повышение эксплуатационной надёжности турбогенераторов с воздушным охлаждением для газотурбинной установки // Глобальная энергия. 2023. Т. 29, № 3. С. 74-89. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29305>
2. Маннанов Э.Р., Степанов А.А., Костельов А.М., Андреев А.М. Исследование повреждений пазовых полупроводящих покрытий статорных обмоток турбогенераторов в условиях эксплуатационных воздействий // Глобальная энергия. 2023. Т. 29, № 2. С. 32-43. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.29203>
3. Маннанов Э.Р., Костельов А.М., Белько В.О., Андреев А.М., Железняк В.Н. / Моделирование разрядной активности в системе изоляции статорных обмоток турбогенераторов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2025. Т. 18, № 5. С. 69-80. doi: 10.32603/2071-8985-2025-18-5-69-80