



МОДЕРНИЗАЦИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ТГВ-300 — НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Завод "Электротяжмаш" с 1962 года выпустил около 80 турбогенераторов типа ТГВ-300 мощностью 300 МВт, которые установлены на крупнейших тепловых электростанциях Украины, России и Казахстана.

По данным статистики общесоюзной фирмы ОРГРЭС после нескольких лет доводочного периода турбогенераторы типа ТГВ-300 заняли лидирующее место среди парка союзных машин мощностью 100—800 МВт по показателям надежности — их коэффициент готовности в течение ряда лет находился на уровне 99,98% (по ГОСТ 533—2000 — не ниже 99,5%) при общей наработке свыше 2000 генераторо-лет. Эта тенденция сохраняется и в настоящее время несмотря на то, что наработка многих машин превысила 40 лет.

При прочих равноценных конструктивных решениях определяющим фактором здесь послужила система непосредственного водородного охлаждения обмотки статора более надежная, чем система водяного охлаждения, которая в 70-х годах прошлого века получила широкое распространение в турбогенераторах упомянутого диапазона единичных мощностей.

Во-первых, системе водяного охлаждения, несмотря на ее несомненно более высокую эффективность отвода потерь из обмотки статора, оказался присущ ряд специфических недостатков. Новые дефекты стали появляться вследствие потери герметичности внутреннего тракта охлаждения и, что еще более опасно — повышенной вероятности нарушения циркуляции воды в отдельных его параллельных ветвях.

Во-вторых, необходимость своевременного обнаружения и устранения таких дефектов многократно усложнила систему контроля и диагностики, потребовала введения новых средств поддержания параметров водного режима (удельное сопротивление, РН, расход воды и т. п.), увеличила объем сервисного обслуживания при эксплуатации и ремонте.

Наконец в третьих, машины с водородным охлаждением обмотки статора вследствие пони-

женных плотностей тока, а турбогенераторы типа ТГВ-300 к тому же еще и благодаря более близкому температурному состоянию обмотки и стали сердечника статора, охлаждаемых параллельными аксиальными потоками водорода, оказались более устойчивыми к негативным воздействиям маневренных режимов работы.

Вследствие отмеченных преимуществ "чисто водородных" турбогенераторов в конце XX века наметилась устойчивая тенденция выполнения работ по повышению их единичной мощности.

Так, в конце 90-х годов на ТЭС "Шварце Пумпе" (Германия) были введены в эксплуатацию 2 генератора по 800 МВт при 3000 об/мин. с непосредственным водородным охлаждением обмотки статора. Ввиду большой аксиальной длины стержней циркуляция водорода через обмотку осуществляется многоступенчатым осевым вентилятором.

На ТЭС "Аксу" (бывшая Ермаковская ГРЭС) в Казахстане в 1967 — 1976 гг. были установлены 8 турбогенераторов типа ТГВ-300.

В связи с исчерпанием расчетного ресурса и необходимостью повышения мощности ТЭС руководство компании АО "ЕЭК" (Казахстан) в ходе конкурса рассмотрело предложения ведущих мировых фирм по модернизации действующего парка турбогенераторов (включая и варианты их замены на машины с водородно-водяным охлаждением) и по соображениям надежности приняла решение использовать модернизированные машины ТГВ-325 повышенной номинальной мощности (325 МВт). [1—3]

Научно-техническими основами создания такого модернизированного турбогенератора кроме решения задач по расширению диапазона допустимых нагрузок повышения показателей надежности и продления срока службы послужил также ряд инноваций, направленных на устранение недостатков, которые проявлялись на некоторых ТЭС, в том числе:

- повышенная вибрация сердечников статоров;

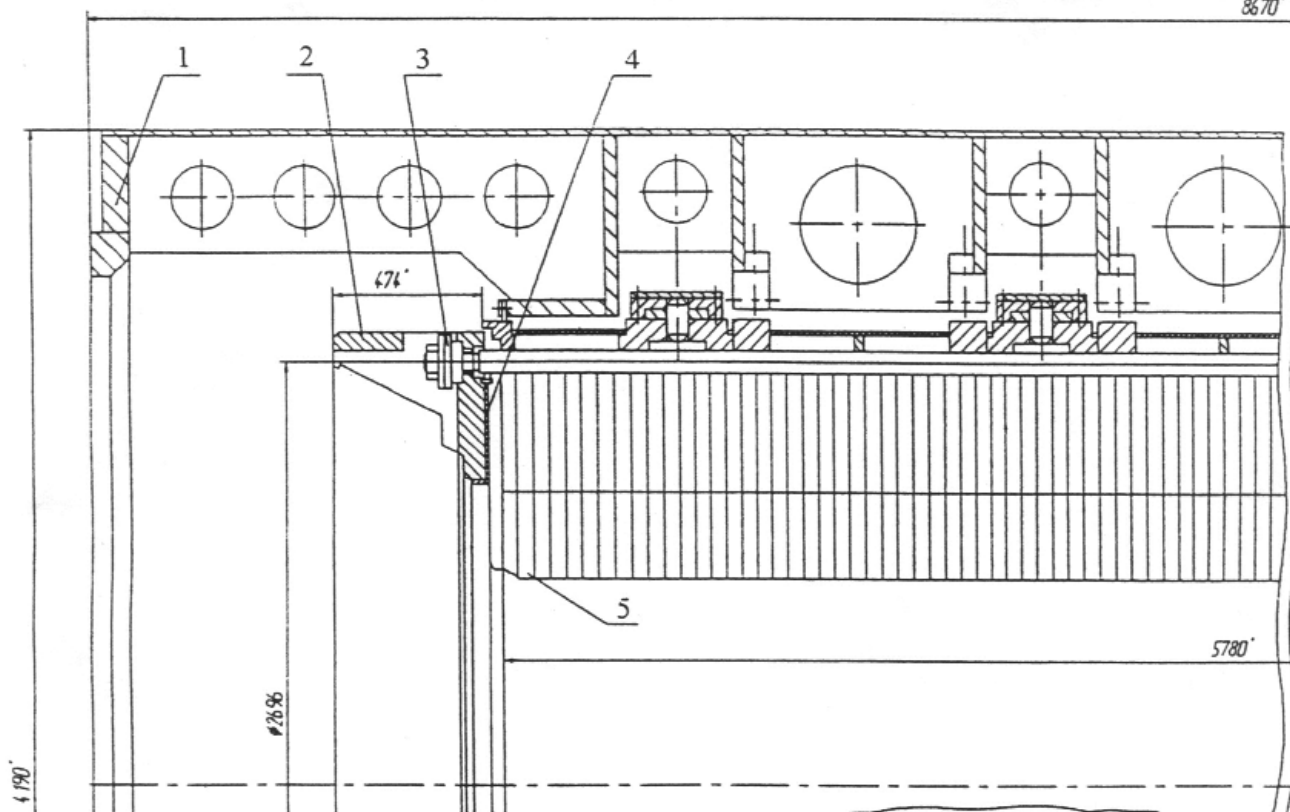


Рис. 1. Модернизация торцевой зоны сердечника статора:

1 – корпус статора; 2 – нажимной фланец; 3 – тарельчатая пружина; 4 – экран с отгибом; 5 – крайний пакет со скосом.

- недостаточная нагрузочная способность турбогенераторов в режимах потребления реактивной мощности;

- недостаточная термическая стойкость роторов в режимах несимметричной и несинусоидальной нагрузок.

Для обмотки статора модернизированного турбогенератора типа ТГВ- 325 применена терморезистивная изоляция класса нагревостойкости "Р".

Наружные размеры изолированных стержней обмотки статора практически не изменены по сравнению с турбогенератором типа ТГВ-300. Для сохранения величины плотности тока в обмотке статора сечение меди стержня увеличено.

Несмотря на применение для статора изоляционных материалов класса нагревостойкости "Р" допустимые температуры обмотки, стали и горячего газа установлены как для класса нагре-

Таблица 1. Основные параметры турбогенераторов типа ТГВ-325 и ТГВ-300

Наименование параметра	Величина параметра	
	ТГВ-325	ТГВ-300
Активная мощность, МВт	325	300
Полная мощность МВА	382,4	353
Коэффициент мощности	0,85	0,85
Напряжение статора, В	20000	20000
Ток статора, А	11040	10200
Ток ротора, А	3140	3050
Напряжение ротора, В	455	420
Частота вращения, об/мин	3000	3000
Коэффициент полезного действия, %	98,7	98,7
Давление водорода в корпусе, ата	4	4
Температура охлаждающей воды, °С	33	33
Срок службы, лет	40	30
Отношение короткого замыкания	0,455	0,5
Переходное индуктивное сопротивление по продольной оси, о.е.	0,314	0,292

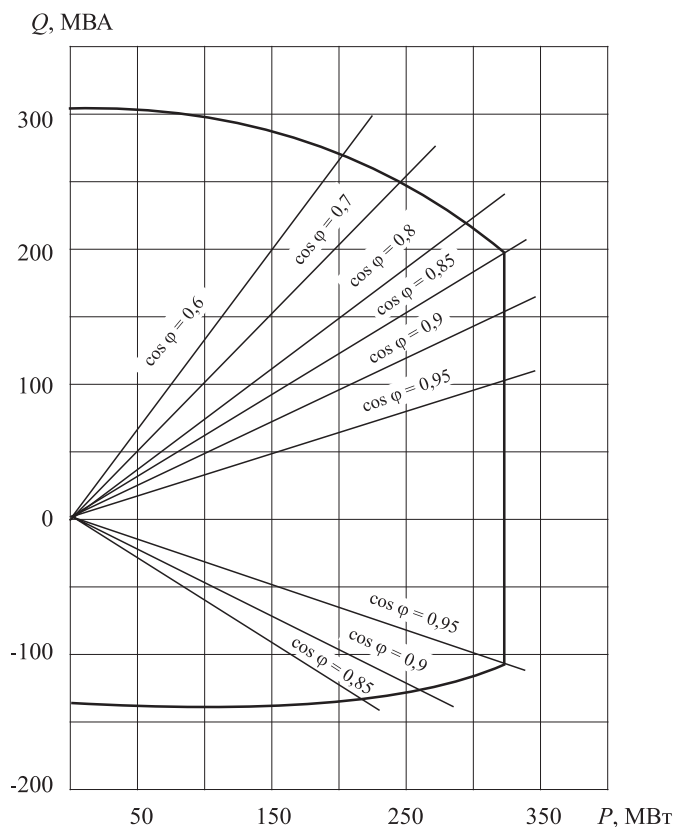


Рис. 2. Диаграмма допустимых нагрузок ТГВ-325-2УЭ

востойкости "В" в соответствии с ГОСТ 533-2000, что дает возможность гарантировать срок службы высоковольтной изоляции 40 лет.

Основные данные модернизированного турбогенератора типа ТГВ-325 представлены в Табл. 1.

При модернизации турбогенератора особенно большое внимание уделено повышению жесткости и монолитности сердечника статора.

Благодаря ряду мероприятий значительно снижена вибрация сердечника статора. Опыт эксплуатации таких сердечников показал их высокую стабильность.

Для обеспечения требования ГОСТ 533-2000 о работе турбогенератора при номинальной активной нагрузке 325 МВт при $\cos \varphi = 0,95$ в режиме потребления реактивной мощности выполнен ряд мероприятий по модернизации торцевой зоны сердечника статора, в целях снижения вредного воздействия магнитных потоков рассеяния на нагрев концевых пакетов сердечника статора. С учетом опыта создания и исследований асинхронизированного турбогенератора типа АСТГ-200-2 [3], в модернизированном турбогенераторе внедрен ряд специальных мероприятий, а именно:

- применены медные электромагнитные экраны, расположенные под нажимными фланцами, с их отгибом в осевом направлении на цилиндриче-

скую поверхность на внутреннем диаметре фланца (Рис. 1);

- выполнены рассечки в зубцах на высоту всего зубца с заходом в область ярма;
- обеспечена монолитность концевых пакетов сердечника за счет их склейки;
- применены косые участки рассечек в зубцах, позволяющие при шихтовке обеспечить перекрой рассеченных участков и повысить их монолитность и прочность;
- применены рассечки под дном пазов сердечника статора в торцевых пакетах с заходом на глубину 40–50 мм в радиальном направлении в область ярма.

В первых турбогенераторах мощностью 200 и 300 МВт серии ТГВ единственным мероприятием снижающим наводимые на бочке ротора токи было выполнение кольцевых проточек, которые оказались недостаточно эффективными при значительной несимметрии и несинусоидальности таковой нагрузки.

Наиболее простым и эффективным решением явилось применение концевых бронзовых клиньев, устанавливаемых по обе стороны кольцевых проточек с одновременным увеличением натяга при посадке бандажного кольца. [4].

Заклиновка как обмоточных пазов, так и пазов большого зуба со смещением стыковых зон клиньев по длине в соседних пазах, исключая появление кольцевых зон из стыков клиньев, которые могли быть причиной кольцевых зон повышенного нагрева бочки ротора при несимметричных режимах и несинусоидальных токах статора.

Повышению надежности и ремонтпригодности будет также способствовать применение бандажных колец из коррозионностойкой стали с новой конструкцией запорной шпонки, доступной для осмотра в собранном виде и упрощающей процесс сборки и разборки бандажного узла.

По согласованию с заказчиком турбогенераторы типа ТГВ-325 могут быть оснащены следующими системами:

- измерения вибрации сердечника статора;
- непрерывного контроля влажности водорода в корпусе генератора;
- форсированного выброса водорода из корпуса турбогенератора при аварийной ситуации;
- гидроподъема вала ротора;
- отсоса масляных паров из подшипников генератора;



- непрерывного контроля витковой изоляции обмотки ротора;
- непрерывного контроля температуры контактных колец.

В результате модернизации создан новый турбогенератор номинальной мощностью 325 МВт при $\cos \varphi = 0,85$ с повышенным сроком службы до 40–45 лет, с улучшенными маневренными характеристиками, с расширением диапазона допустимых нагрузок при потреблении реактивной мощности, с повышенной стойкостью ротора к несимметричным и несинусоидальным нагрузкам.

По результатам стендовых и эксплуатационных испытаний можно сделать следующие выводы:

- турбогенератор типа ТГВ-325 обеспечивает номинальную мощность 325 МВт при $\cos \varphi = 0,85$ при избыточном давлении водорода 3 кГ/см² и температуре охлаждающего водорода 40 °С (диаграмма допустимых нагрузок приведена на Рис. 2);
- при номинальной нагрузке генератор имеет значительные запасы по нагреву всех активных частей и горячего газа;

- коэффициент полезного действия модернизированного турбогенератора типа ТГВ-325 выше, чем турбогенератора типа ТГВ-300 и соответствует показателям лучших мировых образцов для машин данной мощности.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Кузьмин В.В., Федоренко Г.М. Вклад науки в развитие производства на заводе "Электротяжмаш". // Гидроэнергетика Украины. – 2006. – № 2. – С. 18–26.
2. Чередник В.М., Лившиц А.Л., Зозулин Ю.В., Арипхаджаев Н.Э. Модернизированный турбогенератор мощностью 325 МВт. // Гидроэнергетика Украины. – 2006. – № 2. – С. 52–56
3. Кузьмин В.В., Зозулин Ю.В., Черемисов И.Я., Федоренко Г.М., Саратов В.А. Модернизация турбогенераторов мощностью 300 МВт с расширением диапазона их допустимых нагрузок и повышением маневренности. // Новини енергетики. – 2000. – № 1–2.
4. Зозулин Ю.В., Черемисов И.Я. Метод нормирования длительно допустимой несинусоидальной нагрузки турбогенераторов. // Электротехника. – 1984. – № 10.

© Арипхаджаев Н.Э., Зозулин Ю.В., Кузьмин В.В., Лившиц А.Л., 2012

