

УДК 621.735:2.043

А.П. ГРУБОЙ¹, П.Г. ГАКАЛ², А.В. ТРЕТЬЯК^{1,2}¹ГП завод «Электротяжмаш», Харьков, Украина²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОБЛЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ БОЛЬШОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Определены недостатки систем охлаждения турбогенераторов большой и средней мощности, указаны основные проблемы охлаждения сердечника статора, а также приведен вариант интенсификации теплообмена в активных частях турбогенератора. Вариант основан на специальном профилировании охлаждающих каналов статора с учетом перераспределения охлаждающего воздуха и тепловыделения в стержнях. В результате максимальная температура стержней понизилась примерно на 5°С, ресурс изоляции стержней увеличился примерно на 25%. Так как стержни имеют наиболее низкий ресурс в конструкции турбогенератора, то данное усовершенствование значительно улучшает надежность конструкции.

Ключевые слова: турбогенератор большой мощности, теплогидравлический расчет, статор, системы охлаждения.

Введение

Асинхронные и синхронные машины различаются по принципу действия, по устройству их роторов, но статоры этих машин в подавляющем большинстве случаев имеют одинаковую конструкцию [1].

Предельно допустимые повышения температуры для различных частей электрических машин установлены ГОСТ 183-74. Превышение температуры на 10 – 12 °С сверх допустимой сокращает срок службы изоляции примерно вдвое. Поэтому охлаждение активных частей турбогенератора играет значительную роль в определении надежности и долговечности работы электрических машин.

Схемы охлаждения турбогенераторов

Для уменьшения нагрева электрических машин применяют различные способы охлаждения. В качестве охлаждающих сред используется воздух, водород, трансформаторное масло, вода. Наиболее часто для охлаждения применяется обдув (вентиляция) нагретых частей воздухом. Остальные охлаждающие среды (водород, трансформаторное масло, вода) находят применение для охлаждения машин большой мощности.

Вентиляция электрических машин может быть естественной и вынужденной. Большинство электрических машин работает с вынужденным охлаждением, которое осуществляется с помощью вентилятора. Применение вынужденной вентиляции по-

зволяет существенно увеличить отвод тепла.

Машины с вынужденной вентиляцией разделяются на машины с самовентиляцией и машины с независимой вентиляцией. В первом случае вентилятор размещается на роторе машины. При независимой вентиляции охлаждающая среда подается в машину специальным устройством, механически не связанным с валом машины.

Охлаждающий воздух может подаваться внутрь машины – продуваемая или внутренняя вентиляция, а может обдувать наружную поверхность – наружная система охлаждения.

В зависимости от характера работы внутреннего вентилятора различают вентиляцию нагнетательную (вентилятор устанавливается в начале вентиляционного тракта машины) и вытяжную (вентилятор устанавливается в конце вентиляционного тракта машины). При нагнетательной вентиляции воздух, поступающий в машину, будет предварительно подогреваться при прохождении через вентилятор. Условия охлаждения при этом ухудшаются, поэтому необходимо увеличивать количество прогоняемого воздуха, что вызывает увеличение дополнительных потерь.

Охлаждающий воздух может прогоняться вдоль оси вала, в радиальном направлении или комбинированный вариант. В первом случае вентиляция называется аксиальной, во втором – радиальной.

Для прохождения воздуха внутри машины должны быть выполнены соответствующим образом ориентированные каналы. Аксиальная система вентиляции конструктивно проще радиальной. Однако

при большой длине сердечника аксиальная система вентиляции не обеспечивает равномерность теплоотдачи, так как охлаждающий воздух, проходя вдоль машины, постепенно будет нагреваться. Кроме того, вентиляция электрических машин может быть выполнена по разомкнутому или замкнутому циклу движения охлаждающего воздуха. При разомкнутом цикле воздух забирается из окружающей среды, а затем, пройдя машину, вновь возвращается в окружающую среду. При замкнутом цикле воздух циркулирует в замкнутом воздуховоде. При выходе из машины воздух охлаждается в специальном воздухоохладителе, а затем вновь поступает в машину. Исполнение электрических машин по способам охлаждения устанавливается ГОСТ 20459-87.

Для турбогенераторов мощностью более 200 МВт заводом «Электросила» разработана новая конструкция системы охлаждения обмотки и сердечника статора. Впервые новая система охлажде-

ния была применена в турбогенераторе мощностью 225 МВт. В новой конструкции сохранена идея U-образного канала и принципа чередования разнородных зон на периферии статора. Канал, расположенный в радиально-тангенциальной плоскости, заменен на радиально-аксиальный канал. Течение образовано перепуском воздуха между соседними радиальными каналами через аксиальные щелевые каналы, выполненные в зубцах статора (рис. 1) При этом каждый четный радиальный канал, получая холодный воздух из камеры нагнетания, сообщается с парой соседних нечетных каналов через аксиальные каналы в зубцах. Достоинство этой системы охлаждения является увеличение коэффициентов теплоотдачи в радиальных каналах в 1,5 раза по сравнению с U-образными каналами, возрастание общей поверхности охлаждения зубцовой зоны и существенное снижение термического сопротивления.

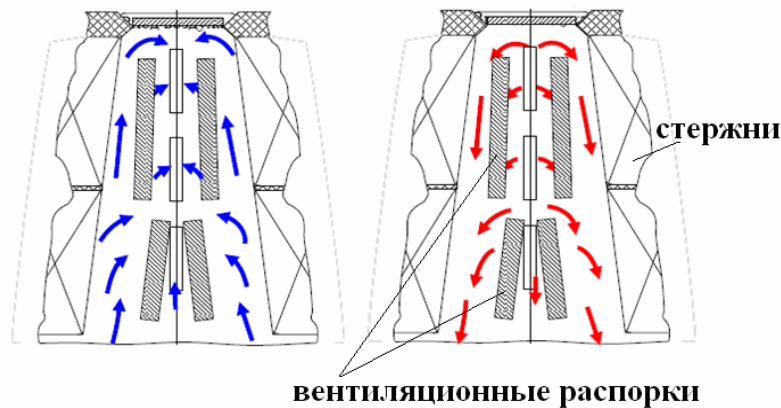


Рис. 1. Система вентиляции турбогенератор завод «Электросила»

Повышение коэффициентов теплоотдачи объясняется турбулизацией и срывом пограничного слоя вследствие ответвления воздушного потока в аксиальные каналы.

Однако, несмотря на то, что введенные изменения в конструкцию существенно улучшают охлаждение, надежность работы турбогенератора при этом снижается, так как дополнительные вентиляционные распорки, крепятся к элементам статора посредством точечной сварки. При работе турбогенератора возникают высокие вибрации, которые могут привести к разрушению крепления и попаданию распорок в зазор между статором и ротором, что может привести к разрушению элементов ротора и статора. Кроме того, максимальное тепловыделение происходит в верхнем стержне обмотки статора. Как показывают расчеты и опыт эксплуатации турбогенераторов система охлаждения с 3-мя вентиляционными отверстиями равного проходного сечения и дополнительными распорками, предложенная

заводом «Электросила», не позволяет равномерно производить охлаждения элементов статора.



Рис. 2 Альтернативная система вентиляции

В качестве альтернативного решения в статье, предложено профилировать вентиляционные отверстия таким образом, чтобы обеспечить распределение воздуха по трем отверстиям, учитывающим особенности тепловыделения стержней статора. Предложенная схема представлена на рис. 2.

Проведенный анализ показал, что предложенная система охлаждения обеспечивает снижение температуры статора примерно на 5 °С, что повышает надежность конструкции статора.

Выводы

Предложенные в работе конструктивные изменения позволили решить ряд проблем в охлаждении

турбогенераторов большой и средней мощности. В частности:

1. Увеличить теплопередачу в элементах статора.
2. Повысить надежность конструкции (отсутствие дополнительных распорок).
3. Повысить ресурс турбогенератора за счет интенсификации охлаждения элементов статора (стержней и «активной стали»).

Литература

1. Токарев Б.Ф. *Электрические машины: учеб. пособие для вузов* / Б.Ф. Токарев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 624 с.

Поступила в редакцию 26.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры производства двигателей летательных аппаратов В.К. Борисевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ПРОБЛЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ВЕЛИКОЇ І СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

О.П. Грубой, П.Г. Гакал, О.В. Третяк

Визначені недоліки систем охолодження турбогенераторів великої та середньої потужності, вказані основні проблеми охолодження осердя статору, а також наведено варіант інтенсифікації теплообміну в активних частинах турбогенератору. Варіант побудовано на спеціальному профілюванні охолоджуючих каналів статору з урахуванням перерозподілу охолоджуючого повітря і тепловиділення у стрижнях. В результаті максимальна температура стрижнів зменшилась зразково на 5°С, ресурс ізоляції стрижнів збільшився на 25%. Так як стрижні мають самий низький ресурс у конструкції турбогенератору, тому дане вдосконалення значно поліпшує надійність конструкції.

Ключові слова: турбогенератор великої потужності, теплогідравлічні розрахунок, статор, система охолодження.

PROBLEMS OF TURBOGENERATORS LARGE AND MEDIUM POWER COOLING

A.P. Gruboi, P.G. Gakal, A.V. Tretjak

Turbogenerators large and medium power cooling system disadvantages are identified. The main problems of the stator core cooling are identified also. The variant of heat transfer enhancement in the stator core is proposed. The variant bases on the cooling channels design, taking into account the air distribution and heat load in the bars. As a result, proposed design provides the maximal bars temperature decreasing on the 5°С and insulation lifetime increasing on 25%. As the bars have minimum lifetime in turbogenerator design, that is why given improvement makes better reliability of the design.

Key words: turbo-generator of high power, thermal-hydraulic calculation, the stator, the cooling system.

Грубой Александр Петрович – Главный конструктор, ГП завод «Электротяжмаш» Харьков, Украина.

Гакал Павел Григорьевич – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры аэрокосмической теплотехники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: ctrph.kharkiv@gmail.com.

Третяк Алексей Владимирович – аспирант кафедры аэрокосмической теплотехники Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»; инженер-конструктор I кат., ГП завод «Электротяжмаш», Харьков, Украина, e-mail: alex3tretjak@mail.ru.