

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.В. ДМИТРИЕВ*, И.И. ВАЛИЕВ*, О.С. ДМИТРИЕВА**

*Казанский государственный энергетический университет

**Казанский национальный исследовательский технологический университет

Процедура замены энергетического оборудования в большом количестве является необычайно дорогим мероприятием. Возможным способом увеличения мощности работающего оборудования является организация более интенсивного отвода тепла. Исследована работа термоэлектрического преобразователя в системе охлаждения.

Ключевые слова: энергосбережение, теплообмен, термоэлектрический преобразователь, энергетическое оборудование, мощность.

В настоящее время энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития экономики России. Согласно оценкам Международной финансовой корпорации и Всемирного банка, потребление энергоресурсов в России может быть уменьшено в промышленности более чем в 2 раза. Повышение эффективности использования энергетических ресурсов является одним из факторов, способствующих стабильности и устойчивому развитию экономики во всех отраслях промышленности [1]. В связи с этим к энергетическому и электротехническому оборудованию промышленных предприятий предъявляются высокие требования надежности. Возможными способами повышения энергоэффективности силового энергооборудования являются: оптимальный коэффициент нагрузки; увеличение коэффициента мощности; уменьшение мощности потерь холостого хода и другие мероприятия, проводимые как на стадии конструирования трансформаторов, так и в процессе их эксплуатации [2]. При этом значения допустимых перегрузок и их продолжительность, а, следовательно, мощность трансформаторов рассчитываются с учетом допустимого нагрева активных частей оборудования [3].

В связи с этим возможным способом решения проблемы для работающего оборудования является организация более интенсивного отвода тепла от обмоток трансформаторов, следствием является увеличение ресурса и надежности. Однако существующие системы охлаждения не всегда являются эффективными, достаточно сложны и дорогостоящи. С целью увеличения теплового потока авторами настоящей статьи предлагается смонтировать на поверхности охлаждающих ребер маслонаполненного энергетического оборудования каскада из полупроводниковых термоэлектрических преобразователей. На рис. 1 показана схема разработанного устройства для дополнительного жидкостного охлаждения нижнего горизонтального коллектора электрооборудования с использованием термоэлектрических преобразователей. К одной из стенок емкости оборудования прикреплены преобразователи, холодная сторона применяется для теплопередачи охлаждаемой жидкости, находящейся внутри емкости, а для отвода тепла в окружающую среду с нагретой стороны термоэлектрической батареи установлены теплоотводящие ребра. Как следствие – повышается эффективность охлаждения оборудования, т.к. площадь контакта, от которой зависит процесс, во много раз больше.

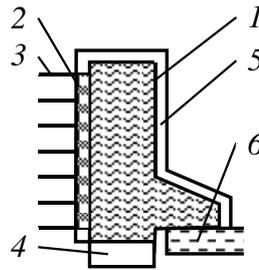


Рис. 1. Схема устройства, дополняющего систему охлаждения энергетического оборудования:
 1 – корпус устройства; 2 – термоэлектрические преобразователи; 3 – теплоотводящие ребра; 4 – опора;
 5 – теплоизоляция; 6 – элемент существующей системы охлаждения

На сегодняшний день достоверных данных исследования работы термоэлектрических преобразователей в системе охлаждения энергетического оборудования нет. С целью проведения такого исследования и получения новых графических зависимостей была спроектирована экспериментальная установка.

Установка состоит из блока питания, вентилятора, емкости, термоэлектрического элемента и штатива. Результаты измерений фиксировались многофункциональным мультиметром, вольтметром, цифровым термометром, инфракрасным термометром. Теплоизолированная емкость устанавливалась на штатив, для уменьшения тепловых потерь, и заливалась горячей водой. Изменение температуры воды измерялось цифровым термометром. В эту емкость устанавливалось устройство, состоящее из термоэлектрического элемента, двух ребренных поверхностей и вентилятора. Источником питания устройства был блок питания, преобразующий переменный ток в постоянный. Значение напряжения задавалось в начале каждого эксперимента и поддерживалось постоянным, отклонение составляло не более 0,1 В ($\pm 0,8\%$). Температура поверхности изоляции измерялась инфракрасным термометром.

Было проведено три исследования (опыта) одного термоэлектрического преобразователя: 1 – без напряжения, 2 – 88% от максимально возможного значения напряжения, 3 – максимальное напряжение.

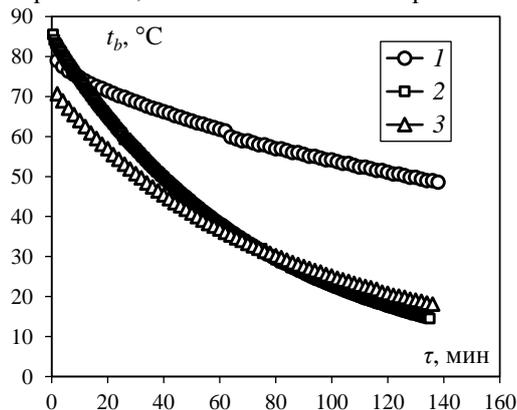


Рис. 2. Изменение температуры воды во времени:
 1, 2, 3 – номер опыта

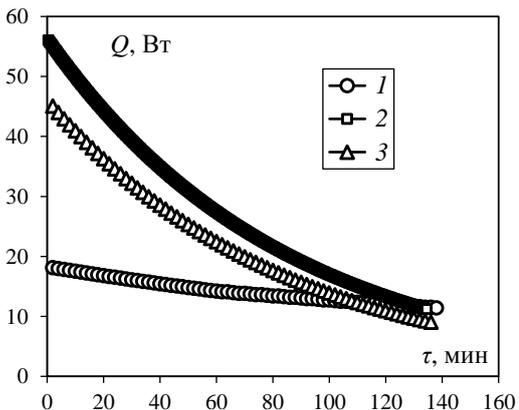


Рис. 3. Изменение теплового потока во времени:
 1, 2, 3 – номер опыта

В результате работы термоэлектрических преобразователей температура воды t_b , находящейся в емкости, со временем τ снижается за счет контакта с холодной стороной преобразователя через стенку (рис. 2), причем в емкости нагретые потоки жидкости непрерывно отводятся в верхние ее слои. Внутри емкости передача тепла происходит путем конвекции, т.е. путем перемещения воды вследствие разности плотностей

нагретых и холодных частиц среды (рис. 3). За счет оригинальной формы емкости площадь контакта увеличивается, тепловой поток возрастает. С течением времени тепловой поток Q уменьшается, достигая своего оптимального значения в период времени 40–60 минут.

Увеличение разности температур между водой и поверхностью устройства приводит к интенсификации процесса теплообмена (рис. 4). Однако достижение отрицательных температур не дает положительной динамики, тепловой поток снижается (рис. 3). Наблюдается заметное снижение затрачиваемой мощности в первые 10 минут работы устройства (рис. 5 линия 2), происходит аккумулялирование холода. С течением времени мощность устройства охлаждения практически не изменяется (рис. 5).

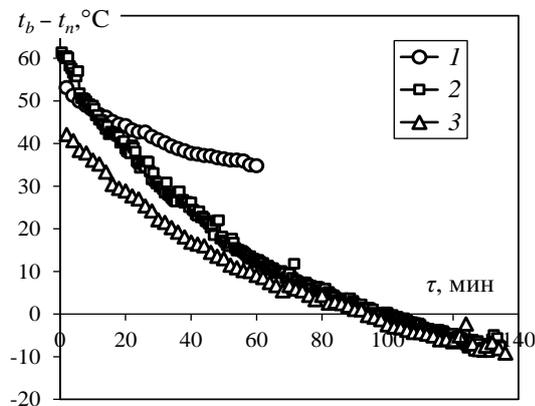


Рис. 4. Изменение разности температур между водой и поверхностью устройства в течение времени работы: 1, 2, 3 – номер опыта

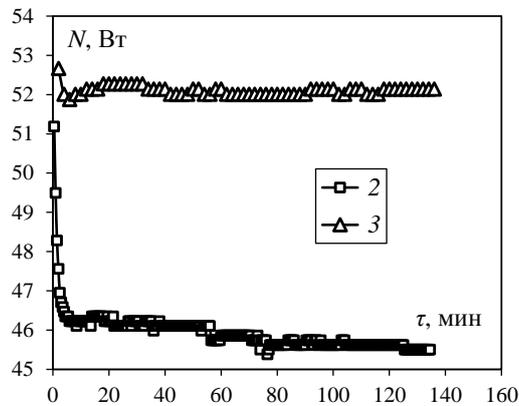


Рис. 5. Изменение мощности оборудования в течение времени работы: 1, 2, 3 – номер опыта

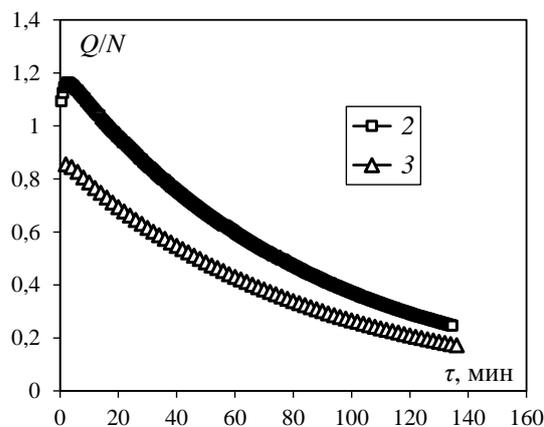


Рис. 6. Изменение коэффициент трансформации в течение времени работы: 2, 3 – номер опыта

Наиболее подходящим для оценки эффективности охлаждения электрооборудования с использованием термоэлектрических преобразователей может быть коэффициент трансформации тепла, представляющий собой отношение отводимого теплового потока Q , Вт к затрачиваемой мощности N , Вт. В качестве охлаждающего агента использовалась вода. Исследования показали, что коэффициент трансформации и, как следствие, эффективность охлаждения увеличивается с ростом температуры охлаждающего агента, поскольку движущая сила процесса теплопередачи

возрастает, процесс охлаждения интенсифицируется (рис. 6). С течением времени значение Q/N уменьшается, поэтому применение термоэлектрических преобразователей обусловлено при кратковременных существенных перегрузках, лишь тогда обеспечивается эффективный отвод тепла от токоведущих элементов.

Таким образом, исследования показали, что применение термоэлектрических преобразователей в системе охлаждения силового оборудования промышленных предприятий позволит интенсифицировать отвод тепла, реализовать мероприятия по энергосбережению на объектах электроэнергетики.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-5215.2016.8 (договор № 14.Z56.16.5215-МК от 14 марта 2016 г.).

Summary

Replace power equipment in large quantities is extremely expensive. One possible way to increase the capacity of operating equipment is an organization of more intensive heat removal. The work of the thermoelectric converter in the cooling system investigated.

Keywords: energy saving, heat transfer, thermoelectric converter, power equipment, power.

Литература

1. Энергоэффективность в России: скрытый резерв // Отчет, подготовленный экспертами Всемирного банка, Международной финансовой корпорации и Центра по эффективному использованию энергии. 2008. URL: http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf.

2. Михеев Г.М. Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов / Г.М. Михеев, Л.Г. Ефремов, Д.Е. Иванов // Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 212-217.

3. Куроедов В.И. Защита от перегрузки трансформаторов, выполненная на современных терминалах защит / В.И. Куроедов, А.А. Лыков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2007. № 3-4. С. 135-137.

Поступила в редакцию

13 января 2016 г.

Дмитриев Андрей Владимирович – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 89046631696. E-mail: ieremiada@gmail.com.

Валиев Ильнар Ирекович – магистрант Казанского государственного энергетического университета. Тел.: 8(987)2673654. E-mail: valievilnar87@mail.ru.

Дмитриева Оксана Сергеевна – канд. техн. наук, доцент Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). Тел.: 8(937)2986700. E-mail: ja_deva@mail.ru.