

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

О.С. ДМИТРИЕВА*, А.В. ДМИТРИЕВ**

*Казанский национальный исследовательский технологический университет

**Казанский государственный энергетический университет,

В статье рассматривается возможность применения термоэлектрического устройства для дополнительного охлаждения масляного трансформатора. Представлены результаты изменения теплового потока во времени при разных вариантах работы устройства.

Ключевые слова: охлаждение, трансформатор, термоэлектрический модуль, тепловой поток.

Надежность и безопасность электроснабжения предприятий промышленного сектора во многом определяются работой трансформаторов, обеспечивающих согласование комплекса с системой и преобразование ряда параметров электроэнергии в требуемые для дальнейшего ее использования. Большая часть эксплуатируемых трансформаторов имеет срок эксплуатации свыше 30 лет, при этом предельный срок эксплуатации трансформаторов оценивается в 45 лет. Высокая степень износа трансформаторов создает потенциальную опасность как для потребителей, так и для обслуживающего персонала. Причем тенденция старения парка трансформаторов является характерной не только для России, но и для большинства развитых стран. Эксплуатация трансформаторов после 30 лет без принятия специальных мер сопряжена с повышенными рисками отказов, в оборудовании развиваются дефекты. Вместе с тем, замена оборудования в короткий отрезок времени технически невозможна и дорогостояща [1, 2]. К тому же эксплуатация трансформаторов в жаркий период времени года нередко сопровождается случаями их перегрева, нарушениями системы охлаждения. Отвести нагретый воздух от обмоток и охладить обмотки становится проблематично. В этих условиях разработка компактных устройств для охлаждения трансформаторов является актуальной. Однако не все способы [3, 4] являются эффективными и доступны для применения.

Внедрение термоэлектрического устройства для дополнительного охлаждения масляного трансформатора позволяет решить проблему отвода тепла от обмоток, следствием этого является увеличение ресурса и надежности оборудования. Разработанное устройство (рис. 1) содержит верхний и нижний горизонтально расположенные коллекторы, соединенные с баком трансформатора с помощью патрубков; вертикально расположенные охлаждающие трубы, гидравлически соединенные с верхним и нижним горизонтальными коллекторами. Над нижним горизонтальным коллектором размещена теплопередающая поверхность емкости, установленной на отдельной опоре, заполненной жидким теплоносителем. В качестве теплоносителя может выступать вода. Также емкость имеет слой тепловой изоляции за исключением участков, на которых смонтированы термоэлектрические модули, представляющие собой элементы Пельтье [5]. В свою очередь, модули образуют батарею, холодная сторона которой использована для передачи тепла охлаждаемой жидкости, а с нагретой стороны установлены ребра, отводящие тепло в окружающую среду.

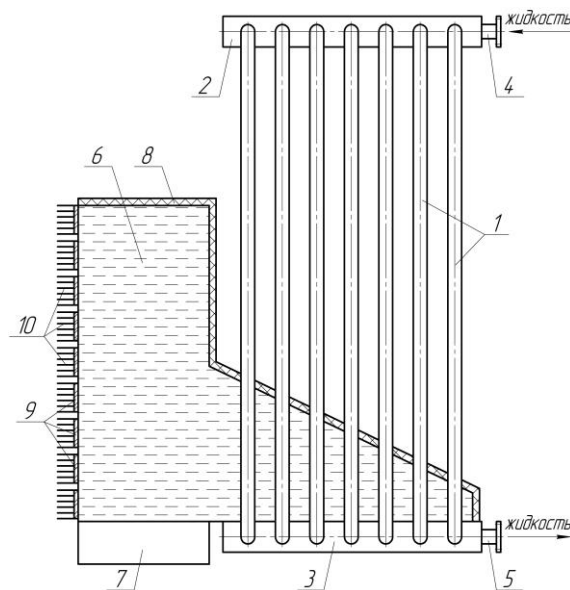


Рис. 1. Схема устройства для дополнительного охлаждения масляного трансформатора:
 1 – вертикальные трубы; 2 – верхний горизонтальный коллектор; 3 – нижний горизонтальный коллектор; 4, 5 – патрубки; 6 – емкость; 7 – опора; 8 – изоляция; 9 – термоэлектрический модуль; 10 – теплоотводящие ребра

Устройство работает следующим образом. Нагретая жидкость поступает из верхней части бака трансформатора через патрубок в верхний горизонтальный коллектор, откуда попадает в охлаждающие трубы. Охлаждаясь, жидкость за счет увеличения плотности опускается по трубам, попадает в нижний горизонтальный коллектор, верхняя стенка которого является поверхностью теплопередачи от жидкости внутри емкости. Теплообмен между окружающей средой и жидкостью происходит через стенку емкости за счет контакта холодной стороны термоэлектрических модулей, при этом естественная циркуляция жидкости обеспечивается разностью плотностей нагретых и охлажденных объемов хладагента. Нестандартная форма емкости позволяет непрерывно отводить нагретые потоки жидкости сразу в верхние ее слои. Для максимального сохранения холода емкость имеет тепловую изоляцию, за исключением стенок с прикрепленными термоэлектрическими модулями. Достаточный отвод тепла в окружающую среду с горячей стороны термоэлектрических модулей обеспечивают теплоотводящие ребра. Таким образом, дополнительно охлажденная жидкость по патрубку поступает в нижнюю часть бака трансформатора. Достоинством применения устройства является его интегрирование в действующую систему охлаждения трансформатора без демонтажа отдельных элементов оборудования. В жаркое время суток эффективность охлаждения жидкости, находящейся в нижнем горизонтальном коллекторе, повышается вследствие того, что с ростом ее температуры увеличивается конвективная теплоотдача. При этом коэффициент теплоотдачи от воды к стенке при свободном ее движении выше коэффициента теплоотдачи при поперечном обтекании труб турбулентного потока воздуха в 3,57–9 раз.

В настоящее время опыта внедрения и эксплуатации термоэлектрических преобразователей в системах охлаждения трансформаторов нет. Были выполнены исследования изменения теплового потока во времени при разных вариантах работы устройства. В качестве охлаждающего агента использовалась вода в емкости вместимостью 200 л. При температуре трансформаторного масла 60 °С температура воды в теплообменнике достигает около 50 °С. Результаты исследований (рис. 2 и 3)

представлены для нескольких вариантов работы устройства: 1 – вода охлаждается на 10 °С; 2 – вода охлаждается на 20 °С; 3 – вода заморожена; 4 – вода испаряется; 5 – вода в равных частях охлаждается с температуры 50 °С до 0 °С и замораживается. Коэффициент полезного действия трансформатора высок и достигает для машин большой мощности 0,98–0,99. Однако при работе трансформатора часть трансформируемой электромагнитной энергии теряется и выделяется в виде тепла, которое рассеивается в окружающую среду. Наибольший прирост мощности наблюдается при четвертом и пятом вариантах работы устройства (рис. 2). Однако реализация четвертого метода работы системы охлаждения трансформатора с применением термоэлектрических модулей затруднена необходимостью подпитки охлаждающей воды из-за ее интенсивного испарения. Варианты 1 и 2 с охлаждением не очень эффективны. Вариант работы 3 устройства сопряжен с риском повреждения емкости ввиду расширения воды при замерзании. Возможным вариантом увеличения мощности трансформатора в пиковые режимы нагрузки является охлаждение половины объема воды с температуры 50 °С до 0 °С и заморозка оставшегося его объема (рис. 2 линия 5).

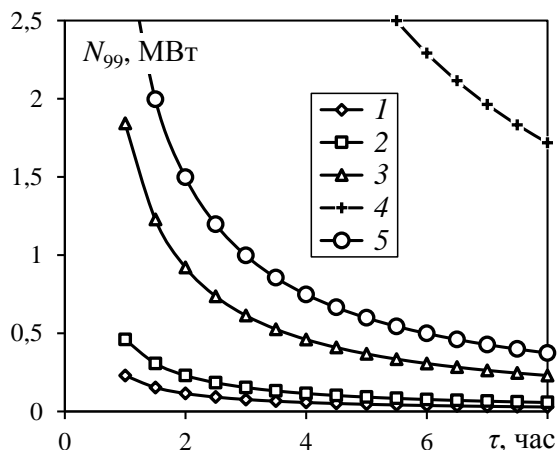


Рис. 2. Зависимость прироста мощности трансформатора во времени: 1, 2, 3, 4, 5 – варианты работы термоэлектрического устройства

Рис. 3 демонстрирует, что с увеличением температуры воды интенсивность испарения возрастает, при этом эффективность теплообмена увеличивается (линия 4).

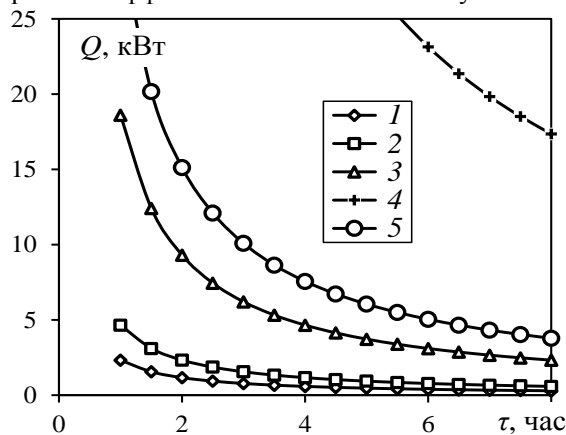


Рис. 3. Изменение теплового потока во времени. 1, 2, 3, 4, 5 – варианты работы термоэлектрического устройства

Эффективность охлаждения увеличивается с ростом температуры охлаждающего агента, поскольку движущая сила процесса теплопередачи и тепловой поток возрастают, процесс охлаждения интенсифицируется (рис. 3, линии 3, 5). При определенных условиях (рис. 3, линии 1, 2) не удастся добиться увеличения теплового потока, перепад температур между средами недостаточен.

Таким образом, результаты исследований подтвердили эффективность предложенного устройства с применением термоэлектрических модулей для дополнения существующей системы охлаждения масляных трансформаторов. При этом обеспечивается эффективный отвод тепла от токоведущих элементов при кратковременных существенных перегрузках, значительно увеличивается надёжность работы.

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

Summary

The article considers the possibility of application of thermoelectric device to further cooling the oil transformer. The results of changes in heat flow with time at different variants of the device presented.

Keywords: cooling, the transformer, the thermoelectric module, heat flow.

Литература

1. Николаев Н.А. Диагностирование технического состояния трансформаторного оборудования как основа энергетической безопасности промышленного предприятия / Н.А. Николаев, А.А. Николаев, Р.А. Леднов // Электротехнические системы и комплексы. 2014. № 4(25). С. 34-40.
2. Ларин В.С. Мировые тенденции развития трансформаторного оборудования (по итогам 45-й сессии СИГРЭ) / В.С. Ларин // Электричество. 2015. № 8. С. 20-26.
3. Bashirov M.G. Increase of efficiency of cooling of the power oil transformers / M.G. Bashirov, M.R. Minlibayev, A.S. Hismatullin // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2014. № 2. С. 358-367.
4. Лопухова Т.В. Особенности конструкции трансформаторов с элегазовой изоляцией / Т.В. Лопухова, Ю.Н. Зацаринная, Р.Н. Балобанов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №4. С. 218-220.
5. Дмитриев А.В. Применение термоэлектрического эффекта для увеличения интенсивности охлаждения электрооборудования / А.В. Дмитриев, О.С. Дмитриева, И.И. Валиев // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 20. С. 70-72.

Поступила в редакцию

13 января 2016 г.

Дмитриева Оксана Сергеевна – канд. техн. наук, доцент Казанского национального исследовательского технологического университета (КНИТУ). Тел: 8(937)2986700.

Дмитриев Андрей Владимирович – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» (ТОТ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(904)6631696. E-mail: ieremiada@gmail.com.