

Е.В. Дилевская, С.И. Каськов

Научно-исследовательский институт энергетического машиностроения
Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАДИТЕЛЕЙ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

АННОТАЦИЯ

В работе¹ представлены результаты разработки и исследований тепловых характеристик охладителей с вихревой интенсификацией теплообмена, применяемых для термостатирования силовых электронных устройств. Также изложены задачи дальнейших исследований, направленных на поиски оптимальных сочетаний режимных и конструктивных параметров охладителей с целью повышения их эффективности.

1. ВВЕДЕНИЕ

Силовые электронные приборы (таблеточные тиристоры, диоды), комплектующие полупроводниковые преобразователи энергии, при функционировании выделяют достаточно большое количество тепла (100-500 Вт на один прибор). В связи с этим они снабжаются двумя индивидуальными охладителями, обеспечивающими двусторонний теплоотвод. Электрические схемы преобразователей энергии предусматривают использование таких модулей, которые занимают 60-70 % объема преобразовательного устройства. Из этого следует, что их эксплуатационные параметры определяются энергоэффективностью охладителей.

В настоящее время для термостатирования силовых электронных приборов (тиристоров) с выделяемой мощностью 150-500 Вт используются охладители на основе тепловых труб. В качестве примера на рис. 1 показан один из возможных вариантов, модернизированных и исследованных авторами [1, 2, 6].

Охладитель представляет собой устройство на основе тепловых труб, концы которых запрессовываются в массивное основание, на котором с помощью специального прижимного устройства устанавливается охлаждаемый тиристор. Трубки снабжены конденсатором, состоящим из плоских ребер, на поверхность которых наносится рельеф со сферическими лунками. Ребра конденсатора обдуваются потоком воздуха. Охладитель для тиристоров мощностью 200-400 Вт имеет следующие параметры: габаритные размеры — 170x40x370 мм; диаметр тепловых труб — 16 мм; размеры ребер — 170x40 мм; число ребер — 60 мм; шаг оребрения — 7 мм.

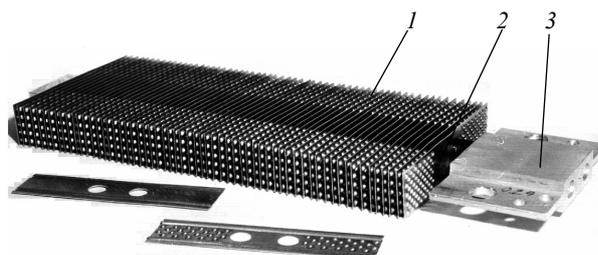


Рис. 1. Охладитель с оребрением, имеющим рельеф из лунок: 1 – ребро конденсатора; 2 – тепловые трубы; 3 – основание для установки тиристора и контакта с тепловыми трубами

Используемые до настоящего времени типы охладителей уже не обеспечивали необходимого уровня повышения энергоэффективности преобразователей. Применяемые в последнее время способы их модернизации исчерпали себя. Были нужны качественно новые подходы к разработке охладителей, улучшению их тепловых и аэродинамических характеристик и поиску их оптимальных компоновок.

В связи с изложенным была поставлена цель создания таких охладителей, применение которых позволит значительно улучшить эксплуатационные параметры преобразователей энергии.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОХЛАДИТЕЛЕЙ

2.1. Экспериментальные исследования и тепловые испытания в составе опытного образца преобразователя

Для увеличения эффективности охладителей применен новый нетрадиционный способ интенсификации теплообмена – вихревой. Он реализуется за счет нанесения на поверхность ребер охладителей специального рельефа, состоящего из системы сферических лунок, играющих роль генераторов вихрей. Наличие рельефа позволяет значительно увеличить теплоотдачу при одновременном предположительно отстающем росте аэродинамического сопротивления [1 - 4]. На рис. 1 представлен именно такой охладитель.

Вихревая интенсификация, нашедшая в последнее время широкое применение в теплообменниках,

¹ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 04-02-08250 (офи-а).

имеет ряд положительных особенностей, которые выделяют ее из круга известных способов интенсификации теплообмена, в частности, значительное увеличение теплоотдачи (до 2-3 раз), относительно простая технология нанесения рельефа, существенное развитие теплоотводящих поверхностей, уменьшение загрязнения поверхностей.

Однако реализация положительных свойств вихревой интенсификации возможна при обеспечении оптимальных размеров рельефа из лунок, наносимого на теплоотводящие поверхности охладителей, в сочетании с режимами течения газа.

Поэтому авторами была разработана программа, включающая в себя следующие работы.

1. Разработка и изготовление охладителей.
2. Исследование тепловых характеристик охладителей.
3. Испытания в составе преобразовательного агрегата.
4. Исследование аэродинамических характеристик экспериментальных пластин, имеющих рельеф из лунок, отличающихся геометрическими размерами и характером их нанесения.

Для исследования тепловых характеристик охладителей было изготовлено 5 образцов, имеющих различную плотность нанесения лунок на ребра — 25, 50 и 75 % от гладкой поверхности [1, 2, 6]. Исследования проводились на специальном стенде, разработанном авторами [1, 2], позволяющем измерять: мощность тепловыделений прибора, расход охлаждающего воздуха и его скорость, гидравлическое сопротивление охладителя, температуру ребер и воздуха в необходимых точках.

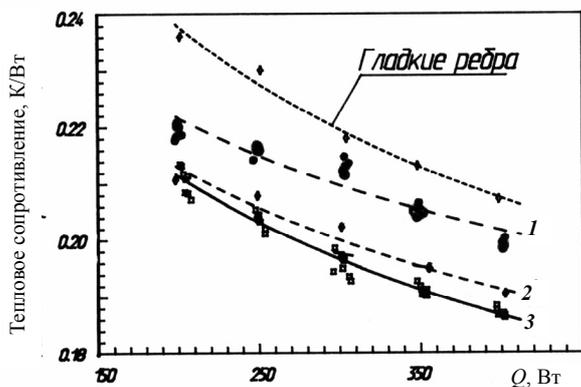


Рис. 2. Зависимость теплового сопротивления охладителей, имеющих ребра с разной степенью "облучения" (в %): 1 — 25 %; 2 — 75 %; 3 — 50 %

На рис. 2 представлены результаты исследования, из которых видно, что охладители с облученными ребрами имеют меньшее значение теплового сопротивления $R_t = \frac{\Delta t}{Q}$,

где Δt — разница температур корпуса тиристора и окружающей среды, Q — мощность тепловыделе-

ний, R_t — общепринятый в силовой электронике параметр оценки эффективности охладителей.

Затем были проведены тепловые испытания охладителей в составе преобразовательного агрегата В-ТПКТ-1,6К, предназначенного для тяговых подстанций метрополитена. Модули «прибор-охладитель» размещались в силовом (тиристорном) шкафу в виде трех вертикальных секций, в каждой из которых находилось по 10 модулей.

Испытания охладителей в составе силовой секции проводились в условиях, соответствующих реальным, обеспечивали необходимую циркуляцию охлаждающего воздуха и тепловые нагрузки, что обеспечило необходимую адекватность результатов испытаний. Они свидетельствуют о том, что тепловое сопротивление «облученных» охладителей на 10-15% меньше, чем стандартных, и температура корпусов тиристоров ниже на 5-7 К, это является существенным аргументом в пользу целесообразности применения вихревой интенсификации теплообмена для повышения эффективности охладителей силовых электронных устройств.

2.2. Экспериментальное исследование пластин с «луночным» рельефом

Цель экспериментов — выявление возможной тенденции уменьшения коэффициента трения на пластинах с рельефом из лунок по сравнению с гладкими. Пока этот вопрос является спорным, и на него нет однозначного ответа. Внешний вид пластин представлен на рис. 3.

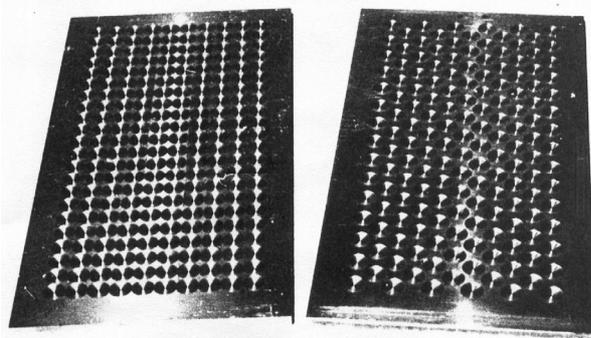


Рис. 3. Пластины с рельефом из лунок с разным характером их размещения

Работа выполнялась впервые и носила поисковый характер [1, 2].

Для выполнения экспериментов было изготовлено 13 образцов (12 со сферическими углублениями и один гладкий — исходный образец). Образцы различались глубиной сфер, шагом их нанесения на поверхность и характером размещения — шахматное и коридорное.

Параметры определялись путем аэродинамического взвешивания в аэродинамической трубе незамкнутого типа с открытой рабочей частью при скорости воздуха 9,4 и 22 м/с.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что действительно наблюдается снижение коэффи-

циента трения при определенном сочетании геометрических параметров и режимов течения воздуха. Однако они требуют дальнейшего уточнения.

Анализ результатов аэродинамического взвешивания дает возможность предварительно выяснить основные параметры плоской поверхности, при которых максимально реализуются возможности вихревой интенсификации теплообмена. Такими параметрами являются: размер сферических углублений; шаг их нанесения (плотность); характер размещения (коридорное или шахматное).

Результаты позволяют прийти к следующим выводам.

1. Диаметр сферы D и ее глубина h должны находиться в соотношении $D/h - 2$.
2. Шаг нанесения сфер на поверхность должен обеспечивать их плотность в диапазоне 40-60 % от величины гладкой поверхности.
3. Предпочтительным является шахматное расположение сфер на поверхности.

2.3. Задачи дальнейших исследований

Работы по повышению энергоэффективности полупроводниковых преобразователей энергии требуют продолжения исследований теплогидравлических характеристик охладителей с вихревой интенсификацией теплообмена.

В связи с этим поставлены задачи, решение которых позволит получить новые необходимые данные.

1. Численное исследование течений вдоль плоских поверхностей с лунками, выполняемое методом компьютерного моделирования. Это позволит получить визуализационные картины обтекания, что даст возможность приблизиться к пониманию физической сути этого неординарного явления. Исследования выполняются по методике, разработанной авторами работы [7].

2. Выполнение экспериментов по определению оптимальных сочетаний режимов течения с геометрическими характеристиками с использованием бесконтактного способа измерения температур тепловизором. Некоторый опыт таких работ имеется [4, 5].

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований, выполненных авторами, свидетельствуют о следующем.

- Аэродинамическое взвешивание 13-ти пластин с лунками показало, что при определенных геометрических параметрах имеется тенденция к уменьшению коэффициента трения.
- Исследование тепловых характеристик 5-ти опытных образцов охладителей с разной плотно-

стью лунок на поверхности ребер свидетельствует о снижении теплового сопротивления охладителей с плотностью лунок до 50 % при скорости обдува 6 – 12 м/с на 15 %.

- При тепловых испытаниях охладителей в составе преобразователя энергии отмечалось снижение температуры корпусов тиристоров, снабженных охладителями с «облуненными» ребрами конденсаторов, на 5 - 7К.
- Сформулированы задачи дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дилевская Е.В., Леонтьев А.И., Канев С.Н. Вихревая интенсификация теплообмена как форма энергосберегающей технологии // Труды Международной конференции по энергосбережению. Хабаровск, 1994. С.36—39.
2. Дилевская Е.В., Чудновский Я.П., Михайлов С.Н. Новый метод интенсификации теплообмена на поверхностях охладителей мощных электронных приборов // Труды 10-й Международной конференции. Брайтон, 1995. Т.6. С. 96—101.
3. Леонтьев А.И., Олимпиев В.В., Дилевская Е.В., Исаев С.А. Существо механизма интенсификации теплообмена на поверхности со сферическими выемками // Известия Академии наук. Серия энергетика 2002. № 2. С.117—135.
4. Effect of vortex flows at surface with hollow-type relief on heat transfer coefficients and equilibrium temperature in supersonic flow experimental/ A.I. Leontiev, Yu.A. Vinogradov, E.V. Dilevskaya и др.// Thermal and Fluid Science 2002, № 26/ p/487-497.
5. Тепловизионные исследования коэффициентов теплоотдачи и восстановления при обтекании поверхности с рельефом в виде лунок/ А.Н. Голиков, С.М. Беднов, Е.В. Дилевская и др. // Труды XIII Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева. С-Петербург, 2001. Т.1 С.120—123.
6. Дилевская Е.В., Касьяков С.И. Исследование теплогидравлических характеристик охладителей с луночным рельефом теплоотводящих поверхностей для устройств электронной техники // Тезисы докладов 2-й Российской конференции «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках» М., 2005. С. 41—42.
7. Исаев С.А., Судаков А.Г., Баранов П.А., Усачев А.Е. Конструирование многоблочных вычислительных технологий для численного моделирования вихревого тепломассообмена. Тезисы докладов 2-ой Российской конференции «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках». М., 2005. С. 43—44.