

Выводы

Предложена простая в технологической реализации конструкция проволочного радиатора с использованием в ней медной проволоки субмиллиметрового диаметра.

Исследование интенсивности теплоотдачи от поверхности такого радиатора при естественной и принудительной конвекции воздуха в условиях охлаждения мощного транзистора 2Т808А подтвердило эффективность конструкции. Коэффициенты теплоотдачи у такого радиатора значительно больше, чем у пластинчатого радиатора типа “крыльчатка”, а также по сравнению с известными конструкциями петельно-проволочного оребрения, выполненного медной проволокой диаметром 0,68 мм и 0,5 мм.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Чернышев А. А., Иванов В. И., Аксенов А. И., Глушкова Д. Н. Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники. — М.: Энергия, 1980.

2. Орнатский А. П., Латенко Б. В., Попель Ю. С. Исследование влияния геометрических характеристик пластинчатых петельно-проволочных радиаторов полупроводниковых приборов на теплообмен при естественной конвекции // Теплофизика и теплотехника. — 1973. — Вып. 23. — С. 53—57.

3. Письменный Е. Н., Рогачев В. А., Босая Н. В. Исследование характеристик эффективности новой теплоотводящей поверхности с сетчатым оребрением при естественной конвекции // Промышленная теплотехника. — 1998. — Т. 20, № 3. — С. 30—33.

4. А. с. 1485329 СССР. МКИ Н01L23/36, Н05K7/20. Радиатор для охлаждения полупроводниковых приборов / В. М. Легкий, В. А. Рогачев. — Оpubл. в Б.И. — 1989, № 21.

5. Бочкарев Э. Г., Андреев В. М., Тузовский К. А. и др. Эффект гигантской теплоотдачи телами субмиллиметровых размеров // Доклады Академии наук. — 1999. — Т. 366, № 2. — С. 178—180.

6. Кремнев О. А., Зозуля Н. В., Хавин А. А. Теплоотдача продольнообтекаемых труб с петельно-проволочным оребрением // Энергомашиностроение. — 1962. — № 5. — С. 29—31.

*Б. П. БАЗЕЛЕВ, В. В. БЫКАДОРОВ, к. т. н. В. И. ЕФРЕМОВ,
Л. Ф. ХРАМОВА*

Украина, г. Одесса, НИИ «Шторм»

Дата поступления в редакцию
24.12 2002 г. — 22.04 2003 г.

Оппонент *к. т. н. М. Г. ХМЕЛЬНИЮК*
(ОГАХ, г. Одесса)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРИБЛИЖЕННОГО ПРЯМОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Предлагаемый метод позволяет проводить стендовые испытания теплообменников с теплоносителями, отличающимися от применяемых при их эксплуатации.

Широкое применение технологии вакуумной пайки в процессах изготовления компактных теплообменных аппаратов привело к появлению многообразных конструкций теплообменников для различных видов техники — систем обеспечения тепловых режимов радиоэлектронной и другой аппаратуры, топливных и масляных систем авиационных двигателей, медицинской техники и др. Это обусловило применение различных типов жидких теплоносителей (вода, водоспиртовые смеси, антифризы, оптически прозрачные жидкости лазерной техники, горюче-смазочные материалы авиационных двигателей и т. п.).

Как правило, разработка компактных теплообменников и их изготовление осуществляются специализированными предприятиями, которые охватывают широкий спектр типов и размеров теплообменников, применяемых в разнообразных видах техники. Поэтому при проведении экспериментальных исследований в процессе разработки и изготовления теплообменников возникает необходимость перезаправки испытательного оборудования тем теплоносителем, который применяется при эксплуатации конкретного теплообменника. Естественно, что такой подход не

может быть эффективным. В связи с этим очевидна актуальность разработки метода проведения испытаний на теплоносителе, имеющемся в стендовом оборудовании.

Возможность такой замены и требования к проведению испытаний установлены теорией моделирования [1—3], в соответствии с которой достоверные результаты могут быть получены при соблюдении необходимых и достаточных условий теплового подобия:

- геометрическое подобие;
- подобие условий движения теплоносителей при входе в теплообменник;
- подобие физических свойств теплоносителей;
- подобие температурных полей на границах, разделяющих теплоносители;
- одинаковость значений определяющих чисел подобия:

$$Re = idem; Pr = idem; \tag{1}$$

$$Re = \frac{wl}{v}; Pr = \frac{\nu}{a}; a = \frac{\lambda}{\rho c_p},$$

где Re — число Рейнольдса;
Pr — число Прандтля;
w — характерное значение скорости движения теплоносителя в теплообменнике;
l — характерный (определяющий) размер;
v, λ, ρ, c_p — кинематический коэффициент вязкости, коэффициент теплопроводности, плотность и удельная теплоемкость теплоносителя, соответственно.

Рассмотрим возможность практического соблюдения вышеперечисленных условий моделирования при испытаниях теплообменника в рамках поставленной задачи. Такой метод моделирования, по определению, называется прямым моделированием.

Первые два условия выполняются однозначно, т. к. конструкция и все размеры модели и эксплуатируемого теплообменника (образца) одинаковы. Остальные условия осуществить очень трудно [1, 2].

Подобие физических свойств теплоносителя (ν , λ , ρ , c_p) требует, чтобы во всех сходственных точках образца и модели отношение соответствующих физических свойств было постоянно, что практически невозможно выполнить ввиду неизотермического движения теплоносителей в теплообменнике.

Условия подобия (1) реализовать в полном объеме удается в редких случаях. Например, если при эксплуатации теплообменника применяется техническое масло марки МК с температурой 50—60°C и значением $Pr=2140—1320$ [4], то при исследовании модели с трансформаторным маслом для выполнения условия $Pr = idem$ масло необходимо охлаждать до температуры ниже -5°C. Такое условие требует наличия в испытательном стенде холодильного оборудования, что не всегда возможно.

Выше рассматривался воздушно-жидкостный теплообменник, при исследовании модели которого необходимые параметры воздуха можно обеспечивать, как правило, испытательным оборудованием. При исследовании же жидкостно-жидкостных теплообменников нередко возникает необходимость замены в модели двух типов теплоносителей (горячего и холодного), что практически исключает возможность выполнения всех условий теплового подобия и, как следствие, не позволяет применять теорию моделирования в ее строгом виде.

В данной работе предлагается метод приближенного прямого моделирования, позволяющий определять теплогидравлические характеристики образца по результатам испытаний модели при помощи коэффициентов пересчета.

Суть метода приближенного прямого моделирования сводится к следующему.

Проводится экспериментальное определение теплового потока в модели (Q_M) в диапазоне расходов теплоносителей, установленном техническими требованиями к испытаниям образца. При этом температурные режимы теплоносителей в модели и образце могут отличаться.

Известно, что тепловой поток Q , передаваемый в теплообменнике от горячего теплоносителя холодному, равен [1]

$$Q = k \cdot \Delta \bar{t} \cdot F, \quad (2)$$

где k — коэффициент теплопередачи;
 $\Delta \bar{t}$ — средний температурный напор;
 F — площадь теплопередающей поверхности.

Очевидно, что для модели и образца $F=idem$, а значения k и $\Delta \bar{t}$ могут быть не равны.

Значение $\Delta \bar{t}$ рассчитывается с помощью аналитически полученных формул [1, 2].

Для расчета k необходимо знать коэффициенты теплоотдачи α горячего и холодного теплоносителей

[1, с. 207; 2, с. 401]. Величину α можно определить, зная число Нуссельта $Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$. С другой стороны, критерий подобия Nu описывается выражением

$$Nu = c Re^n Pr^m, \quad (3)$$

где значения c , n и m определяются путем обобщения многочисленных экспериментальных данных, в том числе и по теплоотдаче различных типов теплоносителей и теплообменных поверхностей [1, 2, 5, 6].

Таким образом, для горячего и холодного теплоносителей можно подыскать уравнения подобия (3), полученные для теплообменных поверхностей, близких или таких же по форме, как и в образце. При этом необходимо учитывать, что значения чисел Re и Pr для теплоносителей образца и модели должны находиться в диапазонах, для которых справедливы эти уравнения.

Следует отметить, что можно создать экспериментальные стенды, провести исследования теплоотдачи и получить уравнения подобия для теплообменных поверхностей образца. Однако для рассматриваемых нами случаев это нецелесообразно.

Далее проводится расчет теплового потока модели (Q_p^M) для тех же теплоносителей, что и в эксперименте, и с использованием выбранных уравнений подобия. Из числа выбранных уравнений подобия отбирается наиболее подходящее, которое обеспечивает наименьшее расхождение расчетных значений Q_p^M с экспериментальными Q_p^o .

Затем по отобранному уравнению рассчитываются значения теплового потока для теплоносителей, применяемых в образце (Q_p^o).

Ожидаемый тепловой поток, передаваемый в теплообменнике-образце в условиях его эксплуатации (Q_o), рассчитываем следующим образом:

$$Q_o = \frac{Q_p^o}{Q_p^M} Q_M^M. \quad (4)$$

В этой формуле отношение Q_p^o / Q_p^M и есть коэффициент пересчета (K_{om}), учитывающий различие тепловых характеристик образца и модели.

На практике для удобства проведения испытаний часто пользуются величиной т. н. приведенного теплосъема $Q_{пр}$:

$$Q_{пр} = \frac{Q}{t'_r - t'_x}, \quad (5)$$

где $t'_{r(x)}$ — температура горячего (холодного) теплоносителя на входе в теплообменник.

Очевидно, что предлагаемый метод применим и для расчета $Q_{пр}$.

Предложенный метод приближенного теплового моделирования аналогичным образом можно использовать и для определения гидравлического сопротивления горячей и холодной полостей теплообменника.

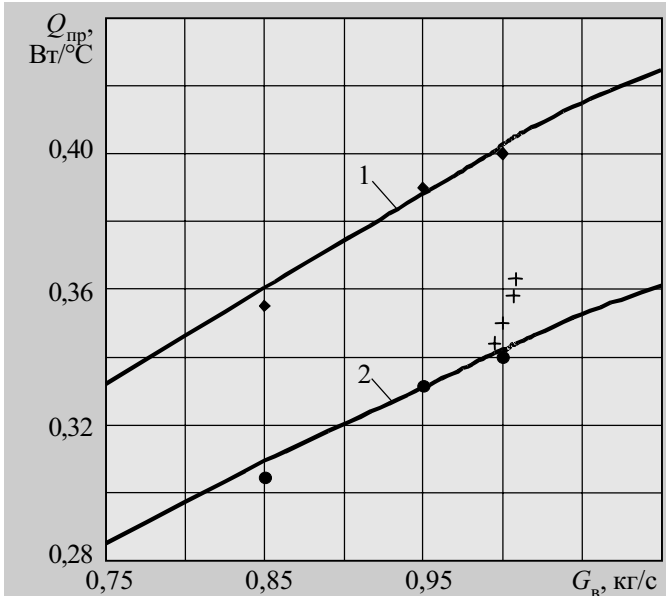
Приведем результаты приближенного теплового моделирования воздушно-масляного теплообменника (ВМТ), эксплуатируемого с авиационным маслом Б-3В.

Параметры, при которых необходимо проводить тепловые испытания:

- температура масла на входе в ВМТ 126°C;
- расход масла 40 кг/мин;

— температура воздуха на входе в ВМТ 40°C;
 — расход воздуха 0,85 кг/с; 0,95 кг/с; 1,00 кг/с.

Испытания модели проводились с использованием антифриза 65. Испытательное оборудование обеспечивало максимальную температуру жидкого теплоносителя 90°C, поэтому испытания проводились при температуре антифриза 85±3°C.



Зависимость приведенного теплосъема от расхода воздуха:
 1 — расчетные значения для антифриза 65; 2 — расчетные значения для масла Б-3В;

◆ — результаты испытаний модели; ● — ожидаемые результаты испытаний образца; + — результаты испытаний образца в составе объектов

В результате испытаний получены три значения приведенного теплосъема (см. рисунок).

Далее после предварительных расчетов из числа выбранных уравнений подобия отобраны наиболее подходящие [6, с. 26]:

$Nu=0,0897 \cdot Re^{0,526} \cdot Pr^{0,526}$ — для жидкого теплоносителя;

$Nu=0,0176 \cdot Re^{0,8}$ — для воздуха.

Расчетные значения приведенного теплосъема, а также полученные при испытаниях теплообменника в составе объекта, показаны на рисунке. Получено значение коэффициентов пересчета $K_{ом}=0,853$. Погрешность полученных результатов моделирования по сравнению с результатами испытаний не превышала 10%.

Предложенный метод приближенного прямого моделирования теплогидравлических характеристик теплообменников неоднократно апробирован при испытаниях теплообменников систем обеспечения тепловых режимов аппаратуры и воздухо-масляных теплообменников, применяемых в составе двигателей летательных аппаратов АН-140 и АН-70 с различными типами масел — Б-3В, ЛЗ-240, ИПМ-10 и др. Все испытания при моделировании проводились с использованием антифриза 65. Результаты последующих испытаний теплообменников в составе объектов подтвердили правомочность предлагаемого метода.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи.— М.: Энергия, 1977.
2. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача.— М.: Энергия, 1969.
3. Кирпичёв М. В., Михеев М. А. Моделирование тепловых устройств. — М.- Л.: Изд-во АН СССР, 1936.
4. Теплотехнический справочник. Т. 1.— М.: Госэнергоиздат, 1957.
5. Кейс В. М., Лондон А. Л. Компактные теплообменники.— М.: Энергия, 1967.
6. Антуфьев В. М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева.— М.: Энергия, 1966.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Ярлык Н. Е. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ.— М.: Радио и связь, 2003.— 192 с.

Рассматриваются прикладные вопросы контроля надежности изделий, использующих современную радиоэлектронную базу, повышение достоверности и снижение стоимости контроля. Описаны инженерные методы расчета параметров последовательных испытаний, даны рекомендации по их применению.

Для специалистов, занимающихся обеспечением надежности изделий радиоэлектроники, может быть полезна студентам вузов.

Кириллов В. И. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ.— М.: Новое знание, 2002.— 752 с.

Рассматриваются основные принципы построения цифровых и аналоговых многоканальных систем передачи. Излагаются особенности реализации функциональных узлов аппаратуры передачи и специфика преобразований сигналов в них. Описываются процедуры проектирования и эксплуатации оборудования систем передачи.

Для студентов вузов специальностей «Телекоммуникационные системы», «Многоканальные системы передачи», «Оптические системы передачи и обработки информации» и др., а также инженерно-технических работников отрасли связи. Учебник для вузов.

