

Следует отметить, что локальность в характере распределения j от ρ в проводящем полупространстве существенно зависит от расстояния h (рис. 1). В качестве примера на рисунке 7 приведены зависимости j от ρ , полученные при тех же условиях, что и зависимости, приведенные на рисунке 5, но при h равном 1 мм. Видно, что по мере увеличения расстояния h локальность распределения вихревых токов в области под витком уменьшается.

Указанные особенности в характере распределения плотности вихревых токов сохраняются при изменении R в широких пределах. В качестве примера приведены зависимости j от ρ , аналогичные приведенным на рисунке 5, но полученные при $R=2$ мм (рис. 8) и $R=10$ мм (рис. 9).

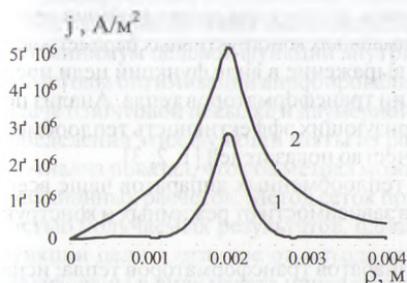


Рис. 8. То же, что на рис. 5, но при $R=2$ мм.

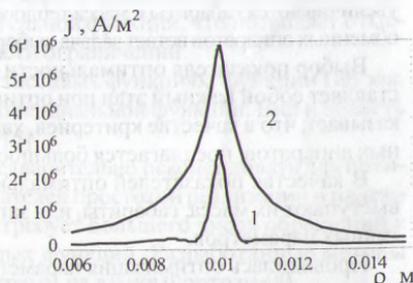


Рис. 9. То же, что на рис. 5, но при $R=10$ мм.

Литература

1. Родигин Н. М., Сандовский В. А. Вопросы теории вихретокового дефектоскопа модуляционного типа // Дефектоскопия. – 1969. – № 3. – С. 60-66.
2. Зацепин Н.Н. Неразрушающий контроль. – Минск: Наука и техника, 1979. – С. 192.
3. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. – Новосибирск: Наука, 1967. – С. 144.

УДК 620.9:657.471

ВЫБОР МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЕПЛА

С.В. Здитовецкая

Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, inform@bstu.unibel.by

The expediency of the application of the penalty functions method and the method of grids was considered for the optimization calculation of parameters of heat exchanges of compression transformers of heat.

Одним из эффективных способов использования низкопотенциальной тепловой энергии является применение трансформаторов тепла.

В настоящее время трансформаторы тепла широко применяются за рубежом, от индивидуальных установок небольшой тепловой мощностью, до промышленных мощностью нескольких десятков мегаватт.

В тоже время трансформаторы тепла (тепловые насосы, холодильные и холодильно-нагревательные машины) сами являются потребителями энергии, поэтому встает задача минимизировать потребление энергии этими устройствами.

Основными потребителями энергии в трансформаторе тепла являются компрессор, обеспечивающий циркуляцию хладагента, а также вентиляторы и насосы необходимые для прокачки хладо- и теплоносителей через теплообменные аппараты. Вследствие этого в настоящее время интерес представляют трансформаторы тепла с пассивными воздушными теплообменными аппаратами, так как движение хладо- и теплоносителей обеспечивается за счет свободной конвекции. Это приводит к экономии энергии, но при этом увеличиваются габариты и масса теплообменников, поэтому при проектировании теплообменных аппаратов встает задача выбора оптимальных конструктивных параметров.

Выбор показателя оптимальности и его выражение в виде функции цели представляет собой важный этап при оптимизации трансформаторов тепла. Анализ показывает, что в качестве критериев, характеризующих эффективность теплообменных аппаратов, предлагается большое количество показателей [1, 2, 3].

В качестве показателей оптимальности теплообменных аппаратов чаще всего выступают их масса, габариты, или затраты в зависимости от режимных и конструктивных параметров.

Проводилась оптимизация параметров аппаратов трансформаторов тепла: испарителя, конденсатора и охладителя. При оптимизации температура наружного воздуха принималась равной 23 °С, температура в холодильной камере 1 °С. Температурный напор между воздухом и хладагентом равен 9-15 °С. Толщина стенки алюминиевого конвективного канала 0,4 мм. Поверхность теплообмена представляла собой биметаллические трубы из нержавеющей стали 16-1 мм с круглыми поперечными ребрами из алюминия с толщиной несущей стенки 1 мм. Коэффициенты теплопроводности стали и алюминия равны 15 и 205 Вт/(м·°С), а их плотности 2700 и 7900 м³/кг. Пучок поверхности теплообмена включал 9 труб, из них 3 ряда располагались по ходу воздуха. Пучок имел 3 параллельных включения по теплоносителю.

В общем случае задача оптимизации сводится к отысканию минимума целевой функции. Реальная целевая функция определяется неявным образом в виде замкнутой системы уравнений, решение которой позволяет определить значение функции цели.

При оптимизации находился минимум целевой функции. Непосредственно минимизировалась масса аппаратов. Также определялись максимальный тепловой поток Q и максимум комбинированного показателя K , учитывающего как тепловые, так и массовые характеристики.

Задача решалась при явных и неявных ограничениях накладываемых на функцию цели. Явные ограничения определяли диапазон изменения конструктивных параметров. Высота ребра h изменялась от 5 до 32 мм, толщина ребра $\delta - 0,3$ до 1,5 мм, шаг оребрения $t -$ от 5 до 20 мм и высота конвективного канала $H -$ от 0,2 до 1,5 м.

Неявным ограничением являлось предельное значение коэффициента оребрения $\varphi < \varphi_{max}$. Конкретное значение φ_{max} устанавливалось в процессе исследования.

Выбор метода оптимизации является затруднительным. На основании имеющегося опыта решения подобных задач [4] для оптимизации были приняты итеративный метод сеток с переменным шагом и метод штрафных функций.

Метод сеток относится к методам оптимизации прямого поиска. В области определения переменных с достаточно крупным шагом определяется значение целевой функции во всех узлах сетки и определяются координаты узла с минимальным значением функции. Затем область определения функции цели уменьшается и процедура повторяется, пока не будет достигнута заданная точность.

Метод штрафных функций относится к методам непрямого поиска. Задача оптимизации с ограничениями преобразуется в задачу оптимизации без ограничений вспомогательной функции

$$F(x, r) = f(x) + r\Phi(x), \quad (1)$$

где $f(x)$ – целевая функция задачи оптимизации, r – штрафной параметр, $\Phi(x)$ – штрафная функция.

При нарушении ограничений значение штрафной функции достаточно быстро возрастает и увеличивает значение вспомогательной функции, что позволяет отыскать минимум целевой функции внутри области ограничений.

Методы оптимизации апробировались на тестовых функциях: функции Пауэла, задаче о почтовой посылке и двумерной экспоненциальной функции. Вид и область определения этих функций взяты из работы [5].

Анализ показал, что оба метода можно предварительно рекомендовать для оптимизационных расчетов. Метод сеток привлекателен простотой реализации и надежностью получаемых результатов, однако он требует большего числа обращений к функции цели в отличие от метода штрафных функций. Разработанные методы реализованы в виде пакета прикладных программ на языке Фортран-90.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что при оптимизации методом сеток и методом штрафных функций может достигаться локальный экстремум целевой функции, отличающийся координатами переменных. Значения функции цели, полученные разными методами оптимизации имеют отличия (таблица 1).

Таблица 1. Значения функции цели

Функция цели	Метод штрафной функции	Метод сеток
F_M , кг	5.060	4.879
F_K , (кг·°C)/Вт	0.1349	0.1342
F_Q , 1/Вт	$2.501 \cdot 10^{-4}$	$2.023 \cdot 10^{-4}$

Если не принимать во внимание массу конвективного канала, то значения всех исследуемых параметров оптимальности, рассчитанные двумя методами оптимизации, являются близкими по своим значениям. В качестве примера рассмотрим оптимальные параметры оребрения испарителя (рис. 1).

Из рисунка 1 видно, что значение высоты ребра находится на верхней границе допустимых значений, толщины ребра – внутри области или на нижней границе допустимых значений, а шаг оребрения находится внутри области.

По числу обращений к целевой функции предпочтительным является метод штрафной функции, по надежности – метод сеток.

Оптимизация с учетом дополнительного неявного ограничения показала неудовлетворительную сходимости при использовании метода штрафных функций.

При оптимизации методом сеток сходимость достигалась во всех рассмотренных функциях.

Проведенные исследования показывают, что при использовании тестовых функций методы оптимизации сеток и штрафных функций работают устойчиво и получаются идентичные результаты. При проведении вычислительного эксперимента имеются некоторые рассогласования при использовании этих методов оптимизации. Это связано со сложным характером исследуемой функции цели. При решении задач рассматриваемого класса большей стабильностью и надежностью обладает метод сеток с переменным шагом. Однако метод штрафных функций является более эффективным по числу обращений к целевой функции.

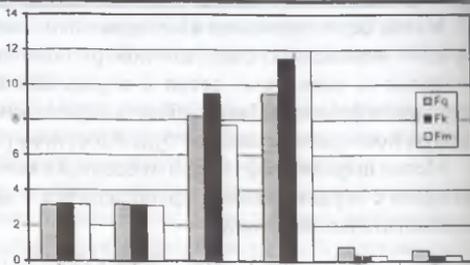


Рис. 1. Оптимальные параметры оребрения испарителя на основе методов штрафной функции (индекс u) и сеток (индекс c)

Литература

1. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. – С. 367.
2. Иоселиани А.Н., Михалевич А.А., Нестеренко В.Б. Методы оптимизации параметров теплообменных аппаратов АЭС. – Мн.: Наука и техника, 1981. – С. 144.
3. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 152.
4. Володин В.И. Комплексный подход к расчету параметров компрессионной холодильной машины // Холодильная техника. – 1998. – № 2 – С. 8-10.
5. Банди Б. Методы оптимизации. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 128.

УДК 621

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА MATLAB ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В.В. Хайновский, Д.А. Зенькевич

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Application of mathematical package MatLab for the decision of the specialized applied problems.

Любое серьезное физико-техническое исследование немислимо без математического моделирования какого либо процесса или явления. Также часто возникает необходимость проведения эксперимента с дальнейшей обработкой полученных данных и их сопоставления с результатами моделирования либо использования в качестве параметров для этого моделирования.

Еще недавно молодые ученые сталкивались с серьезной проблемой при решении вышеуказанных задач. Так, в зависимости от сложности математической модели могли применяться самые различные средства: программируемый калькулятор,