



АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА СУДОВЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ МАСЛА И ВОДЫ

А.Р. Аблаев, канд. техн. наук, доцент
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Приведен анализ математических моделей теплового расчета теплообменных аппаратов. Обработаны экспериментальные теплотехнические характеристики судовых кожухотрубчатых охладителей масла и воды. Разработан алгоритм определения численного значения индекса противоточности для судовых охладителей масла и воды, позволяющий производить их тепловые расчеты в автоматизированной системе.

автоматизированное проектирование, тепловой расчет, судовой охладитель, индекс противоточности

Судовые кожухотрубчатые охладители масла и воды являются важным элементом в судовых энергоустановках, обеспечивающих необходимый съем теплоты во время эксплуатации судна. Требования, предъявляемые к изделиям судового машиностроения, таковы, что при задаче обеспечения высокой надежности оборудования (работа в автономной среде, переменные режимы работы главного и вспомогательного двигателей, использование морской воды в качестве рабочей жидкости, изменение температуры и солености морской воды, вибрация и т. п.) необходимо выполнить условия Заказчика по массогабаритным характеристикам указанного оборудования.

Конструкции судовых охладителей различаются внешним и внутренним диаметром корпуса, диаметром, длиной и материалом трубок, количеством перегородок межтрубного пространства, расположением патрубков охлаждаемой и охлаждающей среды. Все это многообразие усложняет задачу проектировщика, так как на стадии эскизного и технического проектов конструктору необходимо произвести сотни итерационных расчетов для получения оптимального варианта. Теплогидродинамический расчет теплообменного аппарата (ТА) должен учитывать все процессы, протекающие в межтрубном и трубном пространствах ТА. А именно: застойные зоны в межтрубном пространстве, протечки рабочей жидкости через перегородки, количество ходов рабочей среды в трубном и межтрубном пространстве, изменение теплотехнических свойств рабочих сред и т.п. В связи с этим задача разработки автоматизированного метода теплового расчета судовых охладителей, учитывающая все многообразие граничных условий, является весьма актуальной.

При проектировании ТА математической моделью процесса теплопередачи в нем является математическое описание процесса, которое представляет собой систему уравнений, каждое из которых может быть любого вида (алгебраическое, трансцендентное, дифференциальное, интегральное и т.п.).

Приведенные в [1-3] математические описания процесса теплопередачи являются частными и применимы только для отдельных случаев. Для автоматизированного способа проектирования судовых охладителей масла и воды и других теплообменников необходимо использовать обобщенную математическую модель, охватывающую любые схемы движения теплоносителей.

Целью работы является разработка математической модели автоматизированного метода теплового расчета.

В качестве математической модели теплового процесса может служить система уравнений (1) и (2):

$$A = \frac{G_o c_{po}}{G_e c_{pe}} = \frac{t_{ек} - t_{вн}}{t_{он} - t_{ок}} = \frac{1}{R}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{t_{он} - t_{ок}}{t_{он} - t_{вн}} = \frac{\delta t_o}{\Delta t_{расп}} = \frac{P}{A}, \quad (2)$$

где A – функция водяных эквивалентов теплоносителей в ТА;
 P – безразмерный температурный комплекс $P = (t_{ек} - t_{вн}) / (t_{он} - t_{вн})$.

Входящая в уравнение (2) функция тепловой эффективности ТА ε равна (3):

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot [e^{S z_t} - 1]}{[z_t + (A + 1)] e^{S z_t} + z_t - (A + 1)}, \quad (3)$$

где $z_t = \sqrt{(A + 1)^2 - 4pA}$, число единиц переноса тепла в ТА $S = kF / W_{\min}$.

Индекс противоточности ТА $p \in [0, 1]$ – это показатель теплопередаточного совершенства, учитывающий специфику движения рабочих сред (схемы тока). При этом универсальность представленной модели следует из записи функции тепловой эффективности ТА ε , которая применима для любых ТА. Особенность схемы тока выражается с помощью индекса противоточности ТА (p).

Представленную модель можно использовать при решении задач теплогидродинамического расчета ТА. Кроме того, рассматриваемая модель заменяет предложенные ранее громоздкие в реализации графоаналитические методы, использующие поправки $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$ к среднему температурному напору для различных схем тока в ТА [4].

Индекс противоточности p – единственная характеристика, с помощью которой можно точно выразить схему теплопередачи (или схему тока) в ТА. Он является также косвенным показателем теплопередаточного совершенства схемы тока (при противотоке $p = 1$, при прямотоке $p = 0$). Для всех остальных схем тока $p \in [0, 1]$. Чем ближе p к единице, тем эффективнее теплопередача в ТА.

Более общим показателем совершенства служит функция эффективности ТА $\varepsilon = f(p, A, S)$. Согласно предложению [5], индекс противоточности аппарата определяется уравнением (4):

$$p = \frac{(kF)_{прот}}{kF} = \frac{(kF)_{прот}}{(kF)_{прот} + (kF)_{прям}}, \quad (4)$$

Где F – площадь теплопередающей поверхности; индексы относятся к противоточной и прямоточной частям ТА.

В настоящей работе поставлена задача определения индекса противоточности для судовых охладителей масла и воды [6]. Эта задача решается следующим способом. Для каждого теплообменника, представленного в [6], по его теплотехническим характеристикам (проверенными стендовыми испытаниями) определялась фактическая функция эффективнос-

ти ТА $\varepsilon_{\text{факт}}$ по уравнению (2). По тепловому балансу рассчитывается количество тепла, которое необходимо снять охладителем и конечная температура теплоносителя по формулам (5) и (6):

$$Q = G_o c_{po} (t_{он} - t_{ок}), \quad (5)$$

$$t_{ок} = t_{он} + \frac{Q}{G_o c_{po}}. \quad (6)$$

По известным температурам теплоносителей определяется среднелогарифмический температурный напор по формуле противотока (7):

$$\Delta t_{\text{прот}} = \left((t_{он} - t_{ок}) - (t_{ок} - t_{он}) \right) / \ln \frac{t_{он} - t_{ок}}{t_{ок} - t_{он}}, \quad (7)$$

и на основе графиков поправок $\varepsilon_{\Delta t} = f(P, R)$ уточняется значение температурного напора.

Коэффициент теплопередачи, определенный по формуле (8), является реальным значением для данного охладителя:

$$k = Q / (F \cdot \Delta t_{\text{прот}} \cdot \varepsilon_{\Delta t}) \quad (8)$$

В формуле (3) для определения полученной функции тепловой эффективности охладителя $\varepsilon_{\text{получ}}$ неизвестной величиной является значение индекса противоточности. Необходимо решить систему уравнений, в которую входят формулы (2) и (3). Решается данная система методом последовательных итераций значений индекса противоточности до тех пор, пока $\varepsilon_{\text{получ}} = \varepsilon_{\text{факт}}$.

Для проведения более точных расчетов и для ускорения процесса обработки данных разработан алгоритм расчета индекса противоточности для судовых охладителей масла и воды, блок-схема которого изображена на рисунке. В соответствии с данным алгоритмом написана программа на языке Visual C# - 2008, позволяющая рассчитать индекс противоточности для любого теплообменника.

В результате расчета для каждого типоразмера охладителя получено несколько значений индекса противоточности. Они отличались потому, что поправки $\varepsilon_{\Delta t}$ включали в себя отклонения, заложенные в графиках, и неточности при использовании графиков. Для получения точных параметров, полученные значения индексов противоточности, необходимо было усреднить согласно формуле (9) [5]:

$$\bar{p} = \frac{\sum p(P_i, R_i) \cdot R_i \cdot P_i}{(P_{\text{max}} - P_{\text{min}}) \cdot (R_{\text{max}} - R_{\text{min}})} \quad (9)$$

Усредненные значения индекса противоточности (для судовых охладителей масла и воды [6]) приведены в таблице.

Автоматизация теплового расчета судовых охладителей включает в себя разработку методики и алгоритмов определения коэффициента теплоотдачи в трубном и межтрубном пространствах, систематизацию конструктивных данных ТА и характеристик теплоносителей, а также обработку стендовых испытаний реального оборудования. При этом необходимо учитывать изменения гидравлических сопротивлений.

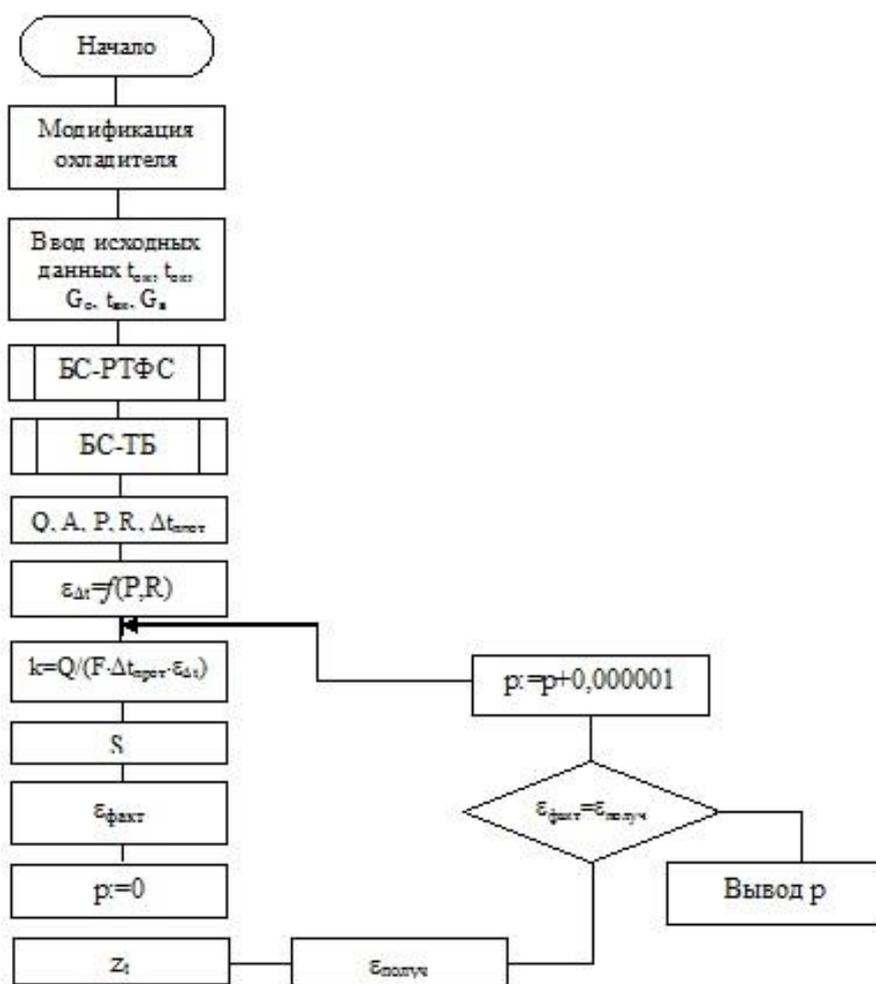


Рисунок – Блок-схема расчета индекса противоточности:
 БС-РТФС – блок-схема расчета теплофизических свойств теплоносителей;
 БС-ТБ – блок-схема расчета теплового баланса

Таблица – Усредненные значения индекса противоточности для каждого типоразмера охладителя

Dв, мм	74	125	170	310	420	600	700	920	1050
\bar{p}	0,904167	0,993933	0,954061	0,9585	0,978748	0,968264	0,974417	0,992367	0,989115

В данной работе разработан алгоритм определения индекса противоточности как составной блок компьютерно-интегрированной системы проектирования судовых теплообменных аппаратов. При создании компьютерно-интегрированной системы проектирования важным этапом является выбор критерия тепловой эффективности ТА, который должен учитывать энергетические, материальные и трудозатраты на изготовление ТА.

Для рассмотренных конструкций охладителей масла и воды [6] значения индексов противоточности получены впервые. Наличие численных значений \bar{p} индексов противоточности для всех типоразмеров кожухотрубчатых судовых охладителей масла и воды позволяет производить автоматизированный способ теплового расчета указанных ТА.

При дальнейшем исследовании необходимо разработать программное обеспечение автоматизированного метода теплового, а также гидродинамического расчета судовых охладителей с использованием полученных значений индексов противоточности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Москва: Энергия, 1975. – 488 с.
2. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Москва: Энергия, 1977. – 344 с.
3. Копачинский, П. А. Судовые охладители и подогреватели жидкостей / П. А. Копачинский, В. П. Тараскин. – Ленинград: Судостроение, 1968. – 244 с.
4. Справочник по теплообменникам: в 2-х т. / пер. с англ. под ред. В. С. Петухова, В.К. Шикова. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 560 с.
5. Каневец, Г. Е. Обобщенные методы расчета теплообменников / Г. Е. Каневец. – Киев: Наук. думка, 1979. – 352 с.
6. Охладители масла и воды кожухотрубные с прямыми трубками. Технические условия // ОСТ 5.4254-86. – Москва, 1987. – 51 с.

AUTOMATED METHOD OF THERMAL CALCULATION OF SHIP OIL AND WATER COOLERS

A.R. Ablaev, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor
Sevastopol State University

The analysis of mathematical models of thermal calculation of heat exchangers is given. Experimental thermo-technical characteristics of marine shell-cracks oil and water coolers have been processed. An algorithm is developed for determining the numerical value of the countercurrent index for ship coolers for oil and water, which makes it possible to perform their thermal calculations in an automated system.

automated design, thermal calculation, ship cooler, countercurrent index