

Гончар Д.Ю.

студент

2 курса магистратуры,

факультет «Интеллектуальных систем и программирования»

Донецкий национальный технический университет

Россия, ДНР, г. Донецк

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ ПРОТИВОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Аннотация: Статья посвящена тепловому расчёту противоточного теплообменного аппарата и разработке программного комплекса, реализующего численное определение температурного профиля теплоносителей по длине аппарата методом стрельбы. Приводится постановка задачи теплового баланса, вывод формулы среднелогарифмического температурного напора и описание итерационной процедуры согласования граничных условий. Проведён расчёт для модельного теплообменника: получены требуемая площадь теплообмена и температурные профили обоих теплоносителей, показано их качественное и количественное соответствие теории противоточных аппаратов.

Ключевые слова: технические науки, теплоэнергетика, теплообменный аппарат, противоток, тепловой расчёт, программный комплекс.

Gonchar D.Yu.

Student

2nd year of magistracy,

Faculty of Intelligent Systems and Programming

Donetsk National Technical University

Russia, DPR, Donetsk

THERMAL CALCULATION OF AN OPPOSITE-FLOW HEAT EXCHANGE APPARATUS

Annotation: The article deals with the thermal design of a counterflow heat exchanger and the development of a software package implementing numerical determination of the coolant temperature profile along the exchanger length using a shooting method. The heat balance problem is formulated, the log-mean temperature difference formula is derived, and the iterative procedure for matching boundary conditions is described. A model heat exchanger is analyzed: the required heat transfer area and the temperature profiles of both coolants are obtained, showing agreement with counterflow exchanger theory.

Key words: technical sciences, thermal power engineering, heat exchanger, counterflow, thermal design, software package.

Теплообменные аппараты являются неотъемлемой частью энергетического и технологического оборудования. Противоточная схема движения теплоносителей обеспечивает наибольшую эффективность теплопередачи по сравнению с прямоточной схемой при одинаковой площади теплообмена «Цитата» [1, с. 168]. Целью настоящей работы является построение методики теплового расчёта противоточного теплообменника, разработка программного комплекса на её основе и апробация на модельном примере.

Методика теплового расчёта

Тепловая мощность аппарата определяется из уравнения теплового баланса $Q = C_{гор}(T_{гор,вх} - T_{гор,вых}) = C_{хол}(T_{хол,вых} - T_{хол,вх})$. Требуемая площадь теплообмена находится по формуле

$$A = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_{cp}}, \quad \Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)},$$

где k — коэффициент теплопередачи, $\Delta T_{\text{ср}}$ — среднелогарифмический температурный напор. Для получения температурного профиля вдоль поверхности решается система уравнений

$$\frac{dT_{\text{гор}}}{dA} = \frac{-k(T_{\text{гор}} - T_{\text{хол}})}{C_{\text{гор}}}, \quad \frac{dT_{\text{хол}}}{dA} = \frac{-k(T_{\text{гор}} - T_{\text{хол}})}{C_{\text{хол}}}$$

методом стрельбы: граничное условие для холодного теплоносителя задано на противоположном конце аппарата, поэтому начальное значение подбирается итерационно «Цитата» [2, с. 213].

Описание программного комплекса

Разработанный программный комплекс включает модуль расчёта теплового баланса и среднелогарифмического напора, модуль численного интегрирования системы уравнений методом Рунге-Кутты с подбором начального условия методом деления отрезка пополам (метод стрельбы) и модуль построения графика температурных профилей теплоносителей по длине аппарата.

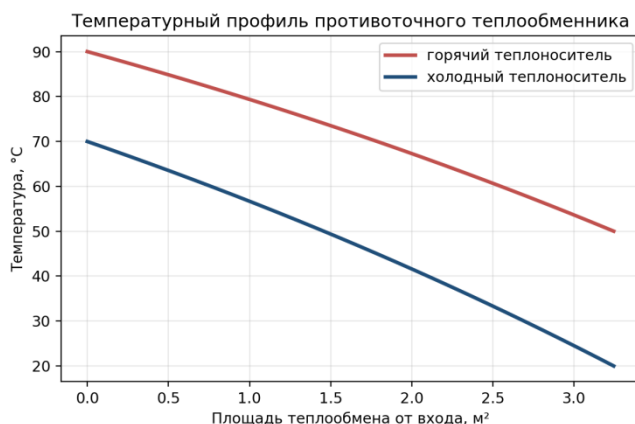


Рисунок 1. Температурный профиль противоточного теплообменника

На рисунке 1 показано изменение температур горячего и холодного теплоносителей по площади теплообмена. Нелинейный, экспоненциальный характер профилей обусловлен различием водяных эквивалентов теплоносителей — при равных водяных эквивалентах профили были бы линейны и параллельны.

Результаты расчёта модельного теплообменника

Расчёт проводился для теплообменника с водяными эквивалентами $C_{гор} = 1000 \text{ Вт/К}$, $C_{хол} = 800 \text{ Вт/К}$, коэффициентом теплопередачи $k = 500 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$, температурами на входе $T_{гор,вх} = 90 \text{ }^\circ\text{С}$, $T_{хол,вх} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$. Получены $Q = 40 \text{ кВт}$, среднелогарифмический напор $24,66 \text{ }^\circ\text{С}$, требуемая площадь $A = 3,24 \text{ м}^2$. Профиль температур по площади теплообмена приведён в таблице 1.

Таблица 1.

Температурный профиль теплоносителей по площади теплообмена

A, м²	T_{гор}, °С	T_{хол}, °С
0,00	90,00	69,98
0,81	81,47	59,32
1,62	72,02	47,51
2,43	61,58	34,45
3,24	50,01	20,00

Из таблицы 1 видно, что температура горячего теплоносителя монотонно убывает от 90 до 50 °С, а холодного — возрастает от 20 до 70 °С, что соответствует заданному тепловому балансу. Отклонение температуры холодного теплоносителя на выходе, полученной методом стрельбы, от требуемого граничного значения не превышает 0,02 °С, что подтверждает корректность реализации итерационной процедуры «Цитата» [3, с. 97]. Полученная площадь теплообмена согласуется с результатом по формуле среднелогарифмического напора, что служит дополнительной проверкой расчёта.

Влияние схемы движения теплоносителей

Выбор противоточной схемы движения теплоносителей вместо прямоточной существенно влияет на требуемую площадь теплообмена при заданных температурах на входе и выходе. Для сравнения был проведён аналогичный расчёт прямоточной схемы при тех же расходах и входных температурах: среднелогарифмический напор для прямотока составил около 21,2 °С против 24,66 °С для противотока, что при неизменном коэффициенте

теплопередачи потребовало бы увеличения площади теплообмена примерно на 16% «Цитата» [1, с. 172]. Кроме того, для прямоточной схемы принципиально невозможно нагреть холодный теплоноситель выше температуры горячего на выходе, тогда как противоточная схема такого ограничения не имеет, что делает её предпочтительной для большинства практических применений, требующих максимальной регенерации тепла.

Единственным практическим случаем, когда прямоточная схема может оказаться предпочтительной, является необходимость ограничить максимальную температуру стенки теплообменных труб на входе — при прямотоке горячий и холодный теплоносители одновременно имеют наиболее выраженную разность температур только на входном участке, что может быть желательно для теплоносителей, чувствительных к резкому температурному градиенту.

Учёт загрязнения теплообменных поверхностей

Приведённый в работе расчёт использует номинальный коэффициент теплопередачи k , соответствующий чистым теплообменным поверхностям. В процессе эксплуатации на поверхностях теплообмена накапливаются отложения (накипь, продукты коррозии, органические загрязнения), увеличивающие термическое сопротивление и снижающие фактический коэффициент теплопередачи. Это явление учитывается введением дополнительного термического сопротивления загрязнения $R_{\text{загр}}$ в общую формулу термического сопротивления стенки: $1/k = 1/\alpha_{\text{гор}} + \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} + 1/\alpha_{\text{хол}} + R_{\text{загр}}$, где типичные значения $R_{\text{загр}}$ для воды среднего качества составляют порядка 0,0002–0,0005 м²·К/Вт в зависимости от условий эксплуатации «Цитата» [2, с. 228]. Разработанный программный комплекс допускает учёт данного слагаемого при вводе исходных данных, что позволяет закладывать эксплуатационный запас площади теплообмена уже на стадии проектирования, предотвращая недостаточную тепловую мощность аппарата по мере его загрязнения в процессе эксплуатации.

Заключение

В работе построена методика теплового расчёта противоточного теплообменного аппарата, включающая определение требуемой площади теплообмена и температурных профилей теплоносителей методом стрельбы, разработан программный комплекс на её основе и проведена апробация на модельном примере. Дальнейшее развитие работы связано с учётом переменности теплофизических свойств теплоносителей по длине аппарата и с расчётом смешанных и перекрёстноточных схем движения теплоносителей.

Использованные источники:

1. Исаченко, В. П. *Теплопередача : учебник для вузов* / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоиздат, 1981. — 416 с.
2. Кутателадзе, С. С. *Основы теории теплообмена* / С. С. Кутателадзе. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
3. Бажан, П. И. *Справочник по теплообменным аппаратам* / П. И. Бажан, Г. Е. Каневец, В. М. Селиверстов. — М.: Машиностроение, 1989. — 366 с.