

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
В ТЕПООБМЕННИКЕ «ТРУБА В ТРУБЕ»

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Красноярский государственный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
В ТЕПООБМЕННИКЕ «ТРУБА В ТРУБЕ»

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

КРАСНОЯРСК 2012

Рецензент:

В.Н. Холопов, д-р техн. наук, проф. кафедры АТЛМ СибГТУ

Составители:

Ченцова Л.И.

Тепляшин В.Н.

Невзоров В.Н.

Ченцова, Л.И.

Определение коэффициента теплопередачи в теплообменнике «труба в трубе»: метод. указания к выполнению лабораторных и практических работ / Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск 2012. - с.

Предназначено для студентов по направлению: 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья», профили: «Технология хранения и переработки зерна», «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий», «Технология бродильных производств и виноделия», «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов», «Технология консервов и пищевых концентратов»; 151000.62 «Технологические машины и оборудование», профиль «Пищевая инженерия малых предприятий», «Машины и аппараты пищевых производств». По специальности «Процессы и аппараты пищевых производств».

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

Красноярский государственный
аграрный университет, 2012

Основные положения

Различают три элементарных способа переноса тепла: теплопроводность, теплоотдача, тепловое излучение.

Теплопроводность – это перенос тепла вследствие беспорядочного движения микрочастиц непосредственно соприкасающихся друг с другом. Это движение может быть либо движением самих молекул, либо колебанием атомов или диффузией свободных электронов.

Конвекция – перенос тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов жидкости или газа.

Тепловое излучение – процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела.

В реальных условиях вследствие того, что непосредственный контакт сред в подавляемом числе случаев по тем или иным причинам недопустим, тепло передается не каким либо из указанных выше способов, а комбинированным путем.

Перенос тепла от стенки к газообразной среде или в обратном направлении называется теплоотдачей.

Сложный процесс передачи тепла от более нагретого теплоносителя с менее нагретому сквозь разделяющую их поверхность теплообмена называется теплопередачей.

Уравнение теплопередачи имеет вид

$$Q = KF\Delta t_{cp} \tau, \quad (1)$$

где: Q – теплота передаваемая от горячего теплоносителя к холодному, Вт; F – площадь поверхности теплообмена, м²; Δt_{cp} – средняя разность температур горячего и холодного теплоносителей,

K ; τ – продолжительность процесса, с; K – коэффициент теплопередачи, $\frac{Вт}{м^2 К}$, численно равный теплоте, передаваемой от горячего теплоносителя к холодному сквозь разделяющую их стенку площадью $1 м^2$ за 1 с при разности температур сред, равной 1 К.

Цель работы

Экспериментальное определение коэффициента теплопередачи при различных схемах движения теплоносителей.

Описание установки

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 1. Установка состоит из теплообменника «труба в трубе» (Т), расходомеров (P_1, P_2) для измерения расхода горячей и холодной воды, запорных вентилей (В3,5,...8) для организации прямо- и противотока теплоносителей, регулировочных вентилей (ВР 1, 2), термометров (1,...4).

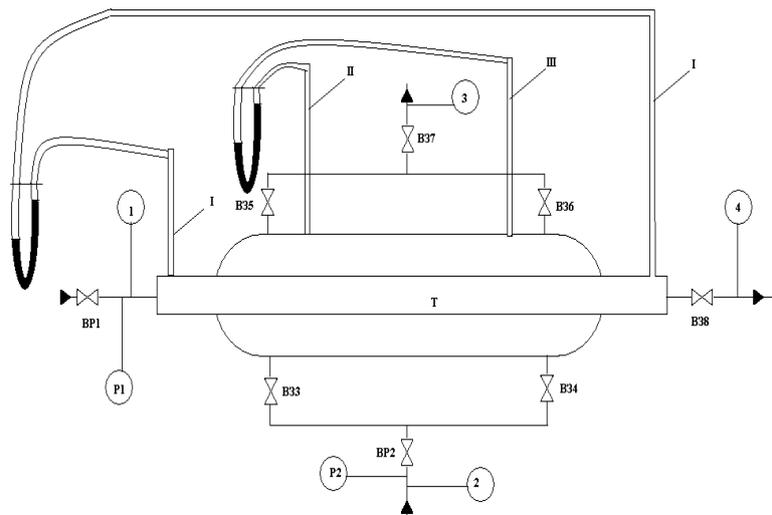


Рисунок 1 – Схема установки для определения коэффициента трения: 1,2,3,4 – термометры; R_1, R_2 - расходомеры холодной и горячей воды

Размеры теплообменника:

D – внутренний диаметр наружной трубы теплообменника, $D = 56 \times 3$ мм,

d – диаметр трубок (трубки стальные, СТЗ), $d = 22 \times 3,5$ мм,

L – длина трубы наружной $L = 0,84$ м; l – длина трубы внутренней, $l = 0,92$ м.

Методика проведения работы

Горячая вода подается в трубное пространство теплообменника, холодная – в межтрубное.

1. Включают теплообменник T в работу при заданном направлении теплоносителей. Для чего открывают вентиль $BP1$ и устанавливают по ротаметру $P1$ определенный расход горячей воды.

2. Устанавливают вентилем $BP2$ по ротаметру $P2$ определенный расход холодной воды.

3. На основании показаний ротаметров определяют по соответствующим графикам расходы горячей и холодной воды.

4. Измеряют температуры горячей и холодной воды на входе и выходе из теплообменника по показаниям термометров 3 и 4.

5. Экспериментальные результаты заносят в таблице 1.

Таблица 1

Таблица экспериментальных результатов

№ опыта	Показание расходомера P_1	Расход горячей воды		Показание расходомера P_2	Расход холодной воды V		Температура горячей воды		Температура холодной воды	
		$м^3$	$м^3/с$		$м^3$	$м^3/с$	на входе $t_H, ^\circ C$	на выходе $t_K, ^\circ C$	на входе $t_H, ^\circ C$	на выходе $t_K, ^\circ C$
1										
2										

Обработка опытных данных

Коэффициент теплопередачи определяют по уравнению

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \sum_{i=1}^{i=n} r_{i_{загр}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

где: α_1, α_2 - коэффициенты теплоотдачи для горячей и холодной воды, соответственно, $Вт/м^2 К$; $\delta_{ст}$ - толщина стенки труб, м; $\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности материала стенки, $Вт/(м К)$ (табл. ХХУШ, [4]); $\sum r_i$ - сумма термических сопротивлений загрязнений стенок трубок, $м^2 К/Вт$ (табл. ХХХI, [4]).

Коэффициенты теплоотдачи α , $Вт/м^2 К$, рассчитывают из критерия Нуссельта

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \quad (3)$$

где: Nu – критерий Нуссельта, характеризующий условия теплообмена на границе двух сред: стенка - поток; λ - коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/(м К); l – характерный линейный геометрический размер поверхности, м.

Критерий Нуссельта для каждого физического случая рассчитывается по соответствующему критериальному уравнению.

В настоящей работе имеет место теплообмен при вынужденном движении теплоносителей без изменения их агрегатного состояния. В этом случае вид критериального уравнения зависит от значения критерия Рейнольдса:

1. В прямых трубах и каналах при турбулентном режиме ($Re > 10000$) критерий Нуссельта определяется по формуле

$$N_{\eta} = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr / Pr_{cm})^{0,25} \cdot \varepsilon_e, \quad (4)$$

где Re – критерий Рейнольдса.

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (5)$$

где: ω - скорость движения теплоносителя в трубах, м/с; d – внутренний диаметр трубы, м; ρ - плотность теплоносителя, кг/м³; μ - динамический коэффициент вязкости теплоносителя, Па с.

Pr – критерий Пранделя

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}, \quad (6)$$

где: λ - коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/м К; c – теплоемкость теплоносителя, Дж/кг К.

Свойства теплоносителя определяются при его средней температуре. При вычислении Pr_{cm} значения свойств жидкости надо брать при температуре стенки. Множитель $(Pr/Pr_{cm})^{0,25}$ для нагревающейся жидкости можно принимать равным 1, для охлаждающейся жидкости – 0,93.

Числовая величина коэффициента ε_1 зависит от отношения длины трубы L к ее диаметру d (табл. 4.3, [4]).

2. При неустойчивом турбулентном режиме $2300 < Re$ определение приближенного значения критерия Нуссельта можно выполнить по графику (рис. 4.1, [4]).

3. Значение коэффициента α в межтрубном пространстве.

Теплоотдача при продольном обтекании пучка труб распространенный способ передачи тепла в межтрубном пространстве трубчатых аппаратов.

При ламинарном режиме $Re < 2320$ Nu рассчитывается по выражению

$$Nu = 1,16(d_{э\kappa\theta} Re^{0,6} \cdot Pr^{0,23}), \quad (7)$$

Характерный линейный размер кольцевого пространства $d_{э\kappa\theta}$ равен

$$d_{э\kappa\theta} = D - d_H, \quad (8)$$

где: D – внутренний диаметр наружной трубы теплообменника, м; d_H – наружный диаметр трубы.

Порядок расчета

Принимается в обозначениях индекс «1» - для горячей воды, индекс «2» – для холодной воды

1. Определение температурного режима

а) Средняя температура горячей воды:

$$t_{1cp} = 0,5(t_{1н} + t_{1к}) \quad (9)$$

б) Средняя температура холодной воды:

$$t_{2cp} = \frac{t_{2н} + t_{2к}}{2} \quad (10)$$

с) Δt_{cp} – средняя разность температур теплоносителей для случая прямотока, т.е. когда направление движения теплоносителей совпадает

$$\begin{array}{c} t_{1н} \xrightarrow{\text{горячая вода}} t_{1к} \\ t_{2н} \xrightarrow{\text{холодная вода}} t_{2к} \end{array}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}, \quad (11)$$

где

$$\Delta t_n = t_{1n} - t_{2n}; \quad (12)$$

$$\Delta t_k = t_{1k} - t_{2k} \quad (13)$$

если соотношение

$$\frac{\Delta t_n}{\Delta t_k} \leq 2,$$

то

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_n + \Delta t_k}{2}; \quad (14)$$

Для противотока, т.е. когда теплоносители двигаются навстречу друг другу

$$\Delta t_\delta \left\{ \begin{array}{l} t_{1n} \xrightarrow{\text{горячая, вода}} t_{1k} \\ t_{2n} \xleftarrow{\text{холодная, вода}} t_{2k} \end{array} \right\} \Delta t_m$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_\delta - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_m}}, \quad (15)$$

где: Δt_δ - большая разность температур теплоносителей; Δt_m - меньшая разность температур теплоносителей.

Если отношение

$$\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} \leq 2,$$

то

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_m}{2}. \quad (16)$$

Физические и теплофизические свойства горячей и холодной воды определяют при средних температурах потоков. Результаты заносят в таблицу 2.

Таблица 2 Теплофизические свойства теплоносителей

Теплоноситель	Свойства теплоносителя			
	Плотность, ρ , кг/м ³	Вязкость, μ , Па.с	Теплопроводность λ , Вт/м К	Теплоемкость, c , Дж/кг К
Горячая вода				
Холодная вода				

4. Определение коэффициента теплоотдачи от горячей воды к внутренней стенке трубки теплообменника α_1 :

а) Из уравнения объемного расхода определяют скорость горячей воды в трубках теплообменника ω , м/с

$$\omega_1 = \frac{V_1}{0,785 \cdot d_{вн}^2 \cdot n}, \quad (17)$$

где V_1 – объемный расход горячей воды, м³/с.

б) Рассчитывают режим течения горячей воды

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_1}{\mu_1}, \quad (18)$$

с) В зависимости от численного значения Re_1 выбирают соответствующее уравнение и рассчитывают величину критерия Nu_1 .

д) Рассчитывают коэффициент теплоотдачи α_1 , Вт/м² К

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{\text{вн}}}, \quad (19)$$

3. Определяют коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к холодной воде

а) Из уравнения объемного расхода определяют скорость холодной воды ω_2 , м/с

$$\omega_2 = \frac{V_2}{0,785D^2}, \quad (20)$$

где V_2 – объемный расход холодной воды, м³/с

б) Рассчитывают критерий Рейнольдса для холодной воды

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{\text{экв}} \cdot \rho_2}{\mu_2}, \quad (21)$$

где $d_{\text{экв}}$ - эквивалентный диаметр, рассчитывается по формуле (8)

с) Определяют коэффициент теплоотдачи α_2 , Вт/м² К

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{экв}}, \quad (22)$$

4 Рассчитывают коэффициент теплопередачи

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \sum_{i=1}^{i=n} r_{заг} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (23)$$

где:

$$\frac{1}{\sum r_{заг}} = \frac{1}{r_{1заг}} + \frac{1}{r_{2заг}}; \quad (24)$$

- тепловая проводимость загрязнений стенок (табл. XXXI [4]).

При отсутствии загрязнений на стенках теплообменника

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (25)$$

4. Определяют тепловой поток

$$Q_2 = G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2к} - t_{2н}) = V_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2к} - t_{2н}), \quad (26)$$

5. Расчет поверхности теплообменника при прямотоке и противотоке

$$F_1 = \frac{Q_2}{K_1 \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (27)$$

При отсутствии загрязнений

$$F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (28)$$

2. Сравнивают полученную величину расчетной поверхности теплообменника с существующей, для чего рассчитывают существующую поверхность по уравнению

$$F = \pi \cdot d_{cp} \cdot l \cdot n, \quad (29)$$

где: d_{cp} - средний диаметр трубок теплообменника; l , n – соответственно длина трубок теплообменника,

$$d_{cp} = 0,5(d_n + d_{en}). \quad (30)$$

Контрольные вопросы

1. Уравнения теплопроводности одно - и многослойной стенки.
2. Коэффициент теплопроводности, его размерность и физический смысл.

3. Термическое сопротивление стенки и загрязнений, их влияние на величину теплового потока.
4. Уравнение теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи α , его размерность и физический смысл.
5. Общий вид критериальной зависимости при конвективном переносе тепла.
6. Что характеризует критерий Нуссельта. Определение коэффициента теплоотдачи α через критерий Нуссельта.
7. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи K , его размерность, физический смысл и расчет.
8. Расчет средней разности температур при различных схемах взаимного тока теплоносителей.
9. Расчет тепловой нагрузки аппарата при нагревании, охлаждении, конденсации и испарении.
10. Устройство одно- и многоходовых кожухотрубчатых теплообменников.

Библиографический список

Основная литература

1. Кавецки Г.Д., Васильев В.В. «Процессы и аппараты пищевой технологии». М.,: Колос, 2010. – с. 551.
2. Ларин В.А., Малахов Н.Н., Плаксинов Ю.В. «Процессы и аппараты пищевых производств». М.,: Колос, 2008. – с. 350.
3. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова, Т.В. Борисова, КрасГАУ, - Красноярск, 2004. – с. 112.
4. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств. Массообменные процессы», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова. – КрасГАУ, - Красноярск, 2009. – с. 163.

Дополнительная литература

1. Борисова Г.В. Основные свойства пищевого сырья, полуфабрикатов и продуктов. Справочное пособие. – КрасГАУ, - Красноярск, 2008. – с. 980.
2. Левин Б.Д., Ченцова Л.И., Шайхутдинова М.Н., Ушанова В.М. Процессы и аппараты химических и биологических технологий. Учеб. пособие для студентов химических специальностей вузов / под общ. ред. д – ра. хим. Наук С.М. Репяха. – Красноярск: Сибирский государственный университет, 2002. – с. 430.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 2 – е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991. – с. 496.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппаратов химической технологии: Учебное

пособие для вузов под ред. чл. – корр. АН России П.Г. Романкова. – 12- -е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – с. 576.

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ
В ТЕПЛООБМЕННИКЕ «ТРУБА В ТРУБЕ»**

Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ

Составители: Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров

Редактор