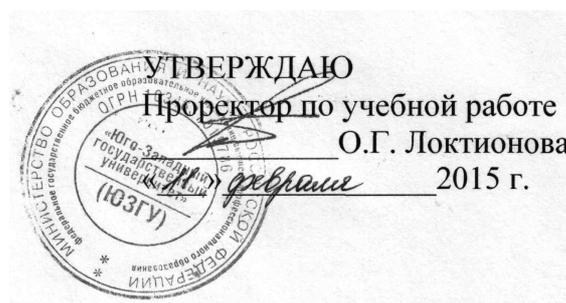


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 31.12.2020 13:36:44
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb17c4d36d39e5f1c11a0bbf73c943d51ca4851fd564089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
Учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



«ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине
«Процессы и аппараты химической технологии» для студентов направ-
ления 240100.62 «Химическая технология».

Курск 2015

УДК 66(076.5)

Составитель: д-р хим.наук, профессор Иванов А.М.

Рецензент д-р хим.наук, профессор Миронович Л.М.

«Тепловые процессы химической технологии»: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии» для студентов направления 240100.62 «Химическая технология»/Юго-Зап.гос.ун-т; сост.: А.М. Иванов. Курск, 2015. 20 с.: рис.4, табл. 5.

Приведены методические указания по выполнению трех лабораторных работ раздела «Тепловые процессы химической технологии» одной из основных дисциплин в технологической подготовке студента «Процессы и аппараты химической технологии». Методикам предшествуют цели, краткая характеристика особенностей протекания процесса, описания и схемы лабораторных установок. Приводятся рекомендации по записи результатов, их обработке и оформлению отчетов по работам, а также контрольные вопросы для подготовки теоретической части работы.

Методические указания предназначены для студентов направления 240100.62 «Химическая технология».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 64x18 1/16

Усл.печ.л. Уч.-изд.л. Тираж экз. Заказ . Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Лабораторная работа №1

Охлаждение жидкости в условиях неустановившегося теплового режима

Цель работы. На примере змеевикового теплообменника познакомиться с исследованием закономерностей теплопередачи в неустановившемся тепловом режиме и с методами определения параметров основного уравнения теплопередачи, в частности, коэффициента теплопередачи K_T и движущей силы Δt_{cp} (температурного напора).

Нагревание и охлаждение жидкостей относится к одной из наиболее распространенных операций не только в технологической, но и в лабораторной практике. Если эта операция проводится периодически, то имеет место неустановившийся режим теплопередачи. Он характеризуется тем, что температура в любой точке теплообмена зависит не только от места расположения этой точки, но и меняется во времени. Это естественно приводит к существенным математическим трудностям в количественном описании такого процесса.

Количество переданного тепла в таком процессе Q определяется интегральной формой основного уравнения теплопередачи:

$$dQ = K_T \cdot \Delta t \cdot dF \cdot dt, \quad (0)$$

где dF – поверхность теплопередачи, dt – время, Δt – движущая сила на выбранном элементе поверхности.

В свою очередь $K_T, \Delta t$ и F сильно зависят от рассматриваемого варианта теплообменного процесса и его аппаратного оформления.

Одним из наиболее простых вариантов неустановившегося режима теплопередачи является случай, когда температура одной жидкости (среды) меняется лишь во времени и не меняется по объему, а второй – меняется во времени и в пространстве. Именно такой случай имеет место при охлаждении определенного объема хорошо перемешиваемой жидкости с помощью змеевикового теплообменника при условии сведения к минимуму потерь тепла в окружающую среду. Для указанного варианта теплопередачи в неустановившемся режиме расчет параметров процесса

проводят по уравнению:

$$\frac{Q}{\tau} = K_T \cdot F \cdot \Delta'_{cp} \quad , \quad (1)$$

где:

$$\Delta'_{cp} = \frac{t_{H(1)} - t_{K(1)}}{\ln \frac{t_{H(1)} - t_{H(2)}}{t_{K(1)} - t_{H(2)}}} \cdot \frac{B - 1}{B \ln B} \quad , \quad (2)$$

$$B = \frac{t_{i(1)} - t_{H(2)}}{t_{i(1)} - t_{i(2)}} = e^{\frac{K_T F}{C_2 G_2}} \quad (\text{при } K_T \approx \text{const}; B \approx \text{const}) \quad (3)$$

Здесь F – поверхность теплообмена змеевикового теплообменника; $t_{H(1)}$; $t_{K(1)}$ – температура жидкости в объеме среды в начале и в конце выполняемой работы (индекс (1) относится к жидкости, температура которой меняется только во времени); $t_{i(1)}$ – температура жидкости в объеме в текущий момент замера; $t_{H(2)}$ – начальная температура жидкости, поступающей в змеевик; $t_{K(2)}$ – конечная (переменная) температура жидкости, выходящей из змеевика (индекс (2) относится к жидкости, температура которой меняется как во времени, так и в пространстве); C_1 ; G_1 – теплоемкость и вес охлаждаемой жидкости в емкости (1); C_2 ; G_2 – теплоемкость и весовой расход жидкости, протекающей через змеевик.

Описание экспериментальной установки

Предлагаемая для работы лабораторная установка приведена на рис. 1. Установка состоит из емкости (1) со змеевиковым теплообменником (2). Емкость (1) помещена в кожух (3) таким образом, чтобы между ней и кожухом был воздушный зазор для уменьшения потерь тепла в окружающую среду. На крышке емкости закреплены механическая мешалка (4) и электронагреватель (5).

Вход змеевика связан с напорной емкостью с переливной трубой (6), обеспечивающей стационарный режим протекающей через змеевик жидкости. Расход этой жидкости определяется степенью открытия запорного крана (7) (расположенного на выходе из змеевикового теплообменника) и измеряется с помощью ротаметра (8), расположенного между выходом змеевика и запорным краном (7).

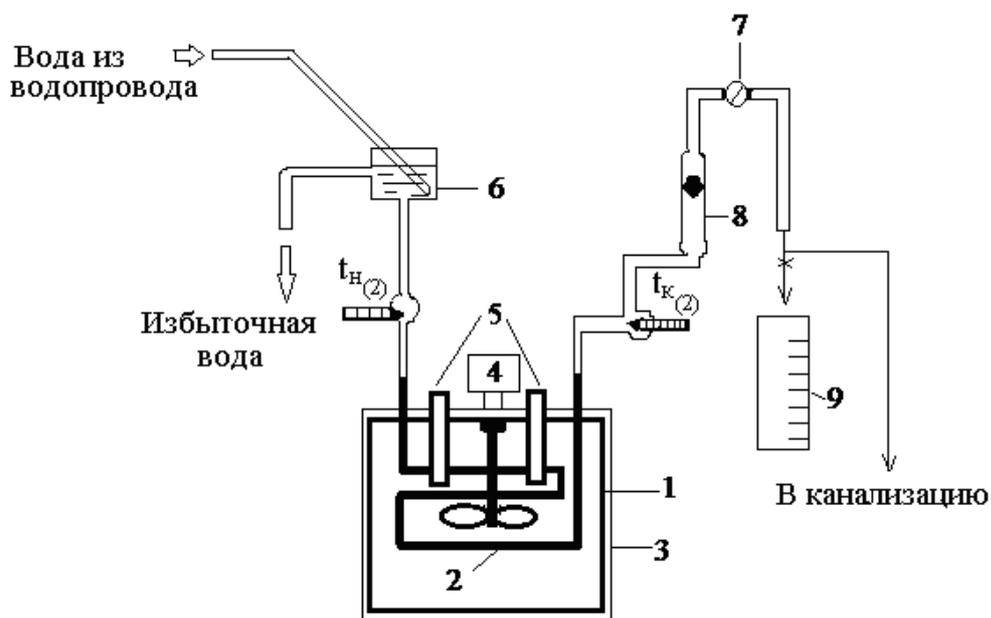


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

1. Заполнить емкость (1) водой, включить мешалку (4) и подать напряжение на нагреватели (5). Нагреватели (5) могут быть стационарными или опускаться в нагреваемую воду для ее подогрева до нужной температуры в подготовительном периоде работы и удаляться после выполнения своей функции. Нагреть воду до температуры $75-90^{\circ}\text{C}$ и прекратить нагрев. Если есть иной источник горячей воды с нужными параметрами, то можно пользоваться им, а горячую воду просто налить в емкость 1.

2. Провести подготовительный этап работы. Для этого через напорную емкость (6) с установившимся уровнем (переливная труба работает не на полную мощность) подать определенный ток воды (определяется степенью открытия запорного крана (7)), добиться стационарного режима и замерить расход. После этого синхронно определить температуры в емкости (1) и на входе в змеевик. Эти температуры принять за $t_{н(1)}$ и $t_{н(2)}$ соответственно.

3. Через определенные промежутки времени (например 30 с – 2 мин, либо через промежутки времени, обеспечивающие падение температуры в емкости (1) на $5-7^{\circ}$) синхронно измерять температуру воды в емкости (1) ($t_{i(1)}$) и температуру воды на выходе из змеевика ($t_{i(2)}$). Эту операцию провести 7-8 раз в интервале температур от $t_{н(1)}$ до $t_{к(1)}$ (задаст-

= $f_1(\tau)$ и $t_{i(2)} = f_2(\tau)$ (см. схему п.3 предыдущего раздела)

2. Исходя из графика по п.1, по согласованию с преподавателем, определить момент окончания процесса ($\tau_{пр}$ – длительность процесса) и выбрать ряд промежуточных температур $t_{i(1)}$ для проведения расчетной части (либо взять экспериментально полученные значения в обозначенном диапазоне).

3. Основываясь на решении по п.2 провести расчет величин B для всех выбранных значений $t_{i(1)}$. Убедиться в примерном постоянстве величины B по ходу изменения $t_{i(1)}$.

4. Используя величины диаметра и длины змеевика, рассчитать поверхность теплопередачи F .

5. Исходя из объемного расхода охлаждающей воды, рассчитать величину G_2 , $G_2 = V_2 \cdot \gamma_2$, где V_2 – объемный расход воды в змеевике, γ_2 – усредненный удельный вес воды в змеевике.

6. Исходя из уравнения (3) и полученных в п.3 величин B , рассчитать коэффициент теплопередачи K_T . Убедиться, что $K_T \approx \text{const}$ и не зависит от выбранного интервала изменения температур в емкости (1).

7. Используя исходные данные о весе воды в емкости (1), рассчитать количество переданного тепла за весь период охлаждения ($Q = G_1 \cdot C_1(t_{н(1)} - t_{к(1)})$) Теплоемкость C_1 взять при средней температуре между $t_{н(1)}$ и $t_{к(1)}$

8. Исходя из полученной в п.3 средней величины B и используя уравнение (2), рассчитать $\Delta t_{ср}$.

9. Используя уравнение (1) и полученные расчетным путем значения F , $\Delta t'_{ср}$, K_T и Q , найти длительность процесса $\tau_{пр}$. Сравнить ее с реально затраченным временем. Сделать выводы о степени совпадения расчёта с полученным в эксперименте.

Контрольные вопросы

1. Особенности теплопередачи в неустановившемся режиме. Варианты, распространение в химической практике. Привести примеры.
2. Основные способы нагрева и охлаждения.
3. Нагревающие агенты и их характеристики.

4. Основные типы теплообменников, их краткая характеристика и сферы использования.

5. Техника безопасности и охрана труда при проведении данной лабораторной работы

Лабораторная работа №2

Экспериментальное определение параметров основного уравнения теплопередачи в стационарном режиме протекания теплового процесса

Цель работы. На примере стационарного режима работы теплообменника типа «труба в трубе» определить величины коэффициента теплопередачи и среднего температурного напора, а также получить данные для расчета и провести расчет теоретического значения коэффициента теплопередачи для выбранных условий работы теплообменника.

Поддержание заданного стабильного температурного режима является неотъемлемой частью технологии практически любого непрерывного процесса. В большинстве случаев выполнению этого требования соответствует теплопередача в стационарном режиме протекания. В количественном отношении она характеризуется величинами коэффициента теплопередачи и среднего температурного напора.

Расчетные формулы для определения указанных параметров получают путем интегрирования основного уравнения теплопередачи.

$$dQ = K_T \cdot \Delta t \cdot dF \cdot d\tau, \quad (0)$$

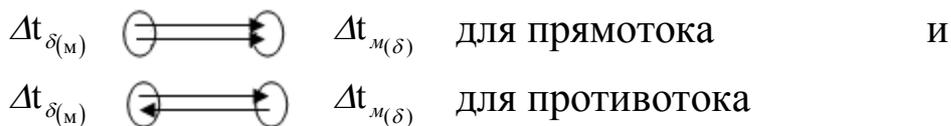
Для теплообменника с цилиндрическими стенками, образованными из m концентрических слоев, используется уравнение (указанное интегрирование приводит)

$$Q = \frac{2\pi \cdot l \cdot n \cdot \Delta t_{cp}^t}{\frac{1}{a_1 \cdot r_B} + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_i \cdot r_{i(cp)}} + \frac{1}{a_2 \cdot r_H}} = K_T^l \cdot F \cdot \Delta t_{cp}^t, \quad (4)$$

$$\text{где } \frac{1}{a_1 \cdot r_B} + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_i \cdot r_{i(cp)}} + \frac{1}{a_2 \cdot r_H} = \frac{1}{K^l \cdot r_H}, \quad (5)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m})}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}\right)}, \quad (6)$$

где l - длина теплообменника, м; n – число параллельно работающих труб; α_1, α_2 -коэффициенты теплоотдачи с внутренней и наружной сторон трубы, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; r_B, r_H - внутренний и наружный радиус трубы, м; δ_i - толщина i - того слоя стенки трубы, м; λ_i - теплопроводность i - того слоя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; m - число слоев в стенке трубы; $r_{i(cp)}$ - среднелогарифмический радиус i - того слоя; K' - коэффициент теплопередачи, отнесенный к поверхности F , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; $F=2\pi r l n$ – общая поверхность теплопередачи, к которой относится коэффициент K' , м^2 ; τ - радиус цилиндрической поверхности площадью F/n , м; Δt_{δ} и Δt_m – большая и соответственно меньшая разность температур, определяемая на концах теплообменника по диаграммам типа



Описание лабораторной установки

Принципиальная схема установки представлена на рис. 3.

Основным элементом установки является стеклянный теплообменник типа "труба в трубе" (1), снабженный карманами (2) для замера температур на входе и выходе трубного и межтрубного пространства. Замер производится термометрами (4), предварительно откалиброванными на одинаковый синхронный температурный ход. В трубное пространство подается горячая (охлаждаемая) вода. Для обеспечения стационарного режима ее протекания используется напорная емкость (3) с переливной трубой. На входе горячей воды в трубное пространство теплообменника (1) расположен запорный кран (5), степень открытия которого определяет расход горячей воды. Последний измеряется с помощью ротаметра (7), отсекаемого запорным краном (6), или по времени заполнения мерного объема (8) (кран $6_{г}$ открыт, подобран таким образом, чтобы

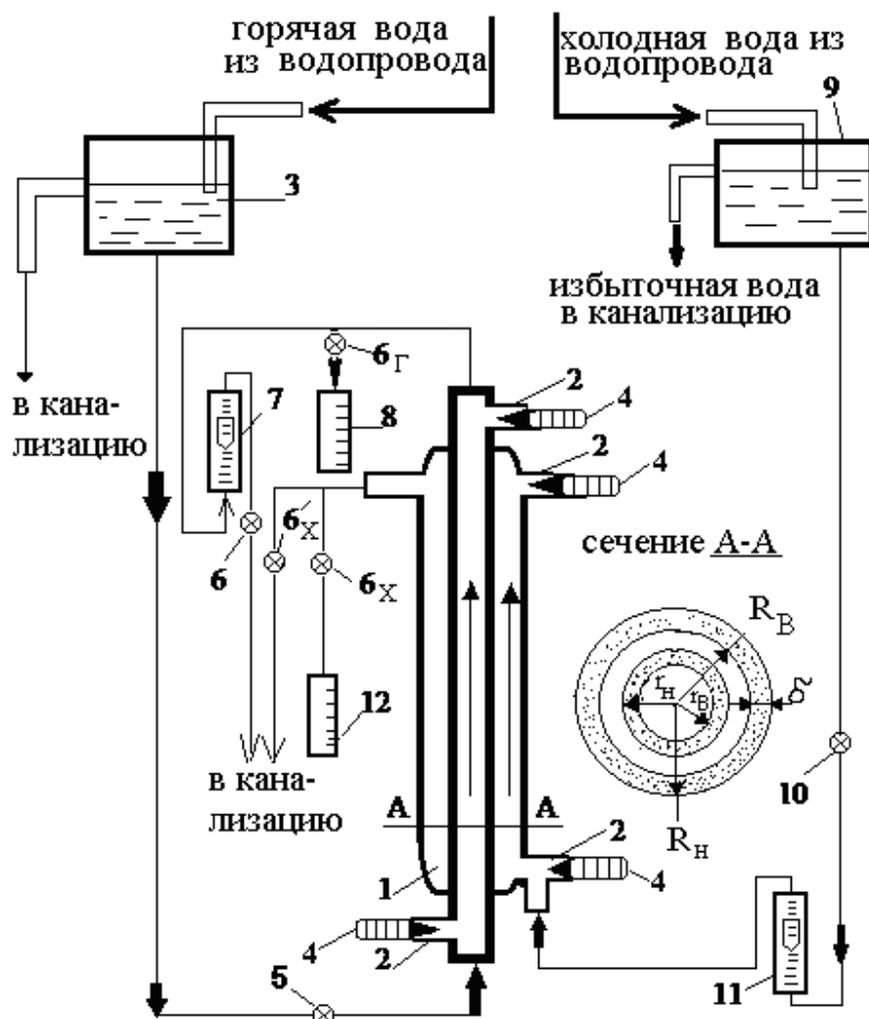


Рис. 3. – Принципиальная схема установки

определяемый краном (5) расход воды не менялся).

Охлаждающая (холодная) вода из напорной емкости с переливной трубой для стабилизации высотного напора (9) подается в верхнюю или нижнюю (на рис. в нижнюю) часть межтрубного пространства теплообменника (1) (определяется преподавателем в зависимости от того, требуется ли противоток или прямоток). Расход охлаждающей воды определяется степенью открытия запорного крана (10), измеряется с помощью ротаметра (11) или по времени заполнения мерного объема (12) кран $6'_X$ закрыт, 6_X открыт).

Порядок выполнения эксперимента

1. Подать воду в напорные емкости (3) и (9) и заполнить трубное и межтрубное пространство теплообменника (1) водой таким образом,

чтобы в теплообменнике и магистралях не осталось воздушных пробок. В отдельных случаях напорные емкости (3) и (9) могут отсутствовать и вода подаваться непосредственно из магистралей.

2. Частично открыть запорные краны (5) и (10), убрать (если остались) воздушные пробки, добиться стационарного режима движения воды в трубном и межтрубном пространствах теплообменника (1). Подачу воды в напорные емкости (3) и (9) отрегулировать таким образом, чтобы переливные трубы стабильно работали, но не на полную мощность.

3. Замерить расходы воды в трубном и межтрубном пространстве теплообменника при стабильном прохождении. Если расход определяется по времени заполнения водой мерного цилиндра, каждый замер повторить 3-5 раз. Полученные данные свести в таблицу 2.

Таблица 2 Форма таблицы для записи результатов эксперимента

Трубное пространство				Межтрубное пространство			
№	Показания ротаметра ($\text{м}^3/\text{с}$ или время заполнения объема ν мерного сосуда, сек)	Объемный расход горячей воды, $\text{м}^3/\text{сек}$	Объемный расход горячей воды по п. 6, $\text{м}^3/\text{сек}$	№	Показания ротаметра или время заполнения объема ν мерного цилиндра, сек.	Объемный расход охлаждающей воды, $\text{м}^3/\text{сек}$	Объемный расход охлаждающей воды по п.6, $\text{м}^3/\text{сек}$
...
1	или $\tau_1 = \dots$	или $\frac{\Sigma V_i}{n}$	или $\frac{\Sigma V_i}{n}$	1	или $\tau_1 = \dots$	или $\frac{\Sigma V_i}{n}$	или $\frac{\Sigma V_i}{n}$
2	$\tau_2 = \dots$			2	$\tau_2 = \dots$		
3	$\tau_n = \dots$			3	$\tau_n = \dots$		

где $V_i = (\nu/\tau_i)$ – объемный расход, равный объему заполняемого водой цилиндра ν , деленному на время заполнения, n – число измерений.

4. После достижения стационарного режима работы теплообменника через каждые 15-30 сек снимать показания термометров на входе и

выходе трубного и межтрубного пространства. Полученные данные занести в таблицу 3.

Таблица 3 Форма таблицы для записи результатов эксперимента

Трубное пространство			Межтрубное пространство		
Время замера температур (по часам)	Температуры, °С		Время замера температур (по часам)	Температуры, °С	
	на входе	на выходе		на входе	на выходе
...

5. Убедиться, что начиная с какого-то времени каждая из 4-х температур перестанет меняться во времени в течение 5-7 минут. Это и есть фиксация достижения стационарного режима работы теплообменника.

6. После выполнения требований п.5 повторить замеры расходов воды в трубном и межтрубном пространствах теплообменника. Если полученные данные совпадают с найденными в п.3, эксперимент прекратить. Если измеренные расходы или хотя бы один из них будут значительно отличаться от полученных в п.3, выполнение пп.3-6 работы повторяют снова.

7. Составить таблицу характеристик установки и справочных данных для расчета (таблица 4)).

Обработка результатов эксперимента

1. Исходя из измеренных размеров теплообменника (1) (рис. 3), рассчитать величину поверхности теплообменника F (m^2).

2. На основе полученных экспериментальных данных найти объемные (m^3/c) и весовые (kg/c) расходы охлаждаемой (в трубном пространстве) и охлаждающей (в межтрубном пространстве) воды. Полученные данные занести в таблицу 3 п. предыдущего раздела.

3. Используя величины весовых расходов и разности температур на входе и выходе трубного и межтрубного пространства, рассчитать количества тепла, отданного охлаждаемой (Q_r) и принятого охлаждающей (Q_x) водой (теплоемкости взять для средних температур на входе и выходе каждого из потоков).

4. Определить потери тепла в окружающую среду $\Delta Q = Q_r - Q_x$

5. Построить диаграмму температур, определить величины Δt_s и Δt_m и, используя уравнение (6), рассчитать средний температурный напор.

Таблица 4 Форма таблицы для записи характеристик установки и справочных данных для расчета

Характеристика установки	Справочные данные для расчета и литературный источник
Длина теплообменника ... м	Плотность горячей воды - ... (источник)
Диаметр трубного пространства внутренний ... м	Плотность холодной воды - ... (источник)
внешний ... м	Вязкость горячей воды - ... (источник)
Диаметр кожуха теплообменника внутренний ... м	Вязкость холодной воды - ... (источник)
внешний ... м	Теплоемкость горячей воды ...
Материал внутренней трубы теплообменника –	Теплоемкость охлаждающей воды ...
кожуха теплообменника –	Коэффициент теплопроводности материала внутренней трубы теплообменника ... (ис- точник).
рабочая жидкость –	И т.д. в плане задания и методики работы.
охлаждающая жидкость –	
объем мерного сосуда (8) –	
объем мерного сосуда (12) –	
и т.д. в плане задания и методики ра- боты.	

6. Исходя из основного уравнения теплопередачи и используя найденные ранее величины Q_r , F и Δt_{cp} , определить величину экспериментального K_T

$$K_T = Q_r / F \cdot \Delta t_{cp}$$

7. Рассчитать теоретическое значение K_T и сравнить его величину с полученной в п.б.

Расчет теоретической величины K_T проводить следующим образом:

А. Определить величину коэффициента теплоотдачи в трубном пространстве α_1 .

Для этого:

а) определить площадь поперечного сечения движущегося потока в

трубном пространстве S_T

б) исходя из объемного расхода охлаждаемой воды V_T , рассчитать скорость движения потока в трубном пространстве W_T .

$$W_T = V_T / S_T$$

в) рассчитать величину критерия Re для потока в трубном пространстве; необходимые физические характеристики взять для средней температуры в отношении температур на входе и выходе из трубного пространства.

г) основываясь на величине Re и пользуясь приведенными ниже эмпирическими критериальными уравнениями, выбрать соответствующее условиям эксперимента критериальное уравнение и рассчитать величины критерия Nu и α_1 .

$$\begin{aligned} Re > 10000 & \quad Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \\ 2300 < Re < 7000 & \quad Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,3} \\ Re < 2300 & \quad Nu \approx 3,65 + \frac{0,0668}{1 + 0,045 B^{2/3}}, \text{ где } B = Re \cdot Pr \end{aligned}$$

l - длина теплообменника.

Б. Определить величину коэффициента теплоотдачи в межтрубном пространстве α_2 .

Порядок расчета изложен в п.А.

При расчете величины критерия Re использовать эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$ (см. сечение А-А на рис. 3).

$$d_{\text{экв}} = D_B - d_H = 2(R_B - r_H),$$

а при расчете α_2 воспользоваться критериальным уравнением

$$Nu = c Re^{0,6} Pr^{0,33}, \text{ где } c = 1,16 d_{\text{экв}}^{0,6}$$

В. Исходя из уравнения (6) и значений α_1 и α_2 , рассчитать величину

K_T . При этом иметь в виду, что $r_{\text{ср}} = \frac{r_H - r_B}{\ln \frac{r_H}{r_B}}$.

Контрольные вопросы

1. Основные элементарные виды передачи тепла. Теплопередача.

2. Теплопроводность, закон Фурье, коэффициент теплопроводности, дифференциальное уравнение теплопроводности, теплопроводность плоской и цилиндрической стенок.

3. Тепловое излучение; законы Стефана-Больцмана, Кирхгофа и Ламберта; передача тепла лучеиспусканием.

4. Конвективный теплообмен, закон Ньютона, дифференциальное уравнение конвективного теплообмена.

5. Тепловое подобие. Критерии и критериальные уравнения.

6. Основное уравнение теплопередачи, коэффициент теплопередачи.

7. Передача тепла через плоскую и цилиндрическую стенку.

8. Техника безопасности и охрана труда при выполнении данной работы.

Лабораторная работа №3

Нагревание водяным паром

Цель работы: познакомиться с одним из вариантов нагревания глухим водяным паром и экспериментально определить коэффициент теплопередачи, среднюю движущую силу процесса и тепловую нагрузку теплообменника.

Насыщенный водяной пар является одним из наиболее распространенных греющих агентов, что объясняется рядом его существенных достоинств:

- в результате конденсации пара получают большие количества тепла при относительно небольшом расходе пара;

- высокие коэффициенты теплоотдачи от конденсирующегося пара определяют малые сопротивления передачи тепла со стороны пара; как следствие проведения процесса нагревания при малой поверхности теплообменника;

- постоянство температуры конденсации, что дает возможность точно поддерживать температуру нагрева;

- легкость регулировки температуры нагрева путем изменения давления насыщенного пара;

- доступность и пожаробезопасность теплового агента.

Есть, конечно, и недостатки. Прежде всего это возрастание давления с повышением температуры. Этим предопределена и верхняя граница диапазона температур для этого агента 180 -190 °С, что соответствует давлению пара 10-12 атм.

Количество переданного тепла в тепловом процессе с насыщенным водяным паром в качестве греющего агента определяется интегральной формой основного уравнения теплопередачи (0)

$$dQ = K_T \cdot \Delta t \cdot dF \cdot d\tau, \quad (0)$$

т.е. для $\tau=1$ в стационарном теплообменном процессе

$$Q = K_t \Delta t_{cp} \cdot F \quad (7)$$

где Q - количество переданного в единицу времени тепла; K_T - коэффициент теплопередачи; Δt_{cp} – среднелогарифмическая разность температур или средний температурный напор; F – поверхность теплопередачи.

Количество переданного тепла от конденсирующегося пара к нагреваемой жидкости (при атмосферном давлении $9,8 \cdot 10^4$ н/м² (1 атм.) теплота конденсации пара составляет $\sim 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг (~ 540 ккал/кг)) может быть найдено из теплового баланса для элемента поверхности dF . Для нагреваемой жидкости он имеет вид:

$$dQ_1 = G_1 C_1 \cdot dt_1 \quad (8)$$

или после интегрирования для стационарного режима с известной F

$$Q_1 = G_1 C_1 (t_{1к} - t_{1н}) \tau \quad (9)$$

Средняя движущая сила легко определяется по формуле (7), F рассчитывается по характеристикам выбранного теплообменника. Это дает возможность расчета величины K_T

$$K_T = \frac{Q_1}{\Delta t_{cp} \cdot F \cdot \tau} \quad (10)$$

где τ – время, использованное для расчета Q_1 по формуле (9); G_1 – вес нагреваемой жидкости за это время, а $t_{1н}$ и $t_{1к}$ – начальная в момент выбранного диапазона фиксации и конечная по завершении обозначенного момента температуры нагреваемой жидкости.

Описание лабораторной установки

Принципиальная схема установки представлена на рис. 4

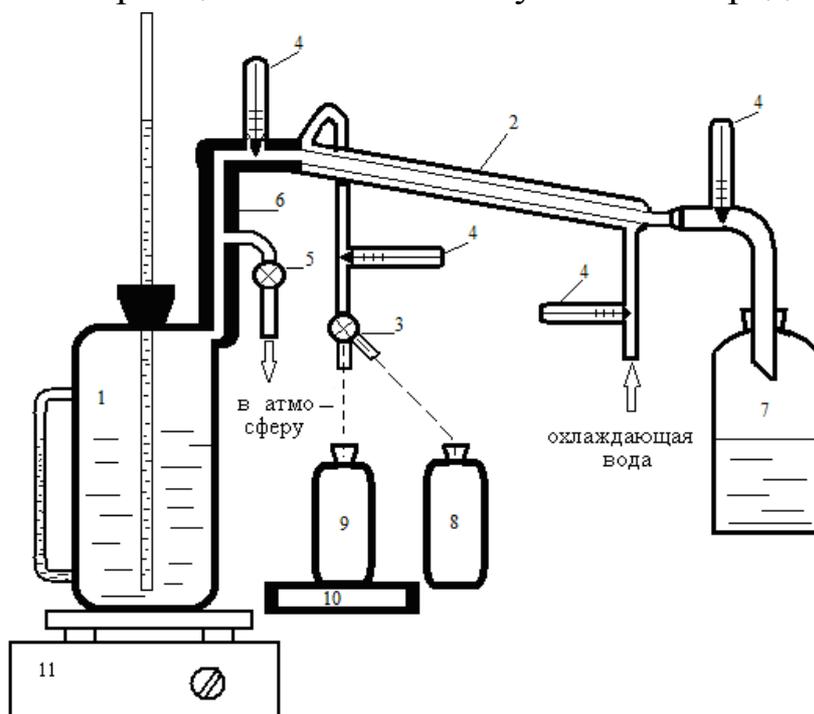


Рис. 4. Схема лабораторной установки для противотока пара и нагреваемой воды: 1- паровик с водомерным стеклом; 2- холодильник Либиха; 3- запорный кран на выходе (входе) нагреваемой жидкости; 4- термометры на выходе (входе) трубного и межтрубного пространства; 5- сброс избыточного пара в атмосферу; 6- теплоизоляция для предотвращения конденсации пара до поступления в холодильник; 7- приемник конденсата; 8- приемник охлаждающей воды в

период настройки режима (большая емкость); 9- приемник охлаждающей воды в период работы (емкость из легкого пластика); 10- весы; 11- электронагреватель

Порядок выполнения эксперимента

1. Получить допуск к выполнению работы, выйти на рабочее место, осмотреть его комплектацию, собрать (дособрать) лабораторную установку в соответствии с прилагаемой схемой. Предварительно паровик залить до нужного уровня водой и включить электронагреватель на полную мощность. Кран 5 открыть на атмосферу.

2. Подать ток холодной воды в холодильник Либиха (2) и отрегулировать запорный кран (3) таким образом, чтобы был достигнут оговоренный расход нагреваемой жидкости. В период настройки вода собирается в емкость (8). Затем гибкий выход воды перебрасывается в емкость (9), расположенную на весах (10), фиксируется время обозначенного переброса, а также время поступления в емкость (9) согласованного с преподавателем количества воды (2,3 или 5 кг.). Полученные данные заносятся в журнал измерений (в виде таблицы 5), а сами измерения выполняются несколько раз. Перед каждым последующим измерением емкость

(9) опорожняется (вода собирается в емкость (8), которая периодически также опорожняется путем слива в канализацию, когда прием воды происходит в емкость (9)).

Таблица 5 – Форма таблицы для записи результатов эксперимента

№ измерения	прием воды в емкость (9) по часам		Расход холодной воды V , м ³ /сек (м ³ /час)	$V_{cp(x)}$, м ³ /сек
	начало	по достижении п кг слитой воды		
1
2
3
<i>i</i>
После окончания работы

3. После того как вода в паровике будет устойчиво кипеть, кран (5) на атмосферу перекрыть, направив поток пара в холодильник Либиха на нагревание трубного пространства. При этом нужно следить за показаниями термометров на входе и выходе в трубное и межтрубное пространство холодильника. Через каждые 2-3 мин делать запись в таблице 6, отслеживая наступление момента, когда показания каждого из четырех термометров окажутся стабильными во времени. Этот момент принять за начало рабочего периода и сменить приемник (7) на новый. Понаблюдав такую стабильность в течение 7-10 минут, провести контрольное определение расхода воды в межтрубном пространстве и записать результаты такого контроля в последней строке таблицы 5 п.2.

В случае их совпадения с наблюдаемыми ранее значениями V_{cp} опыт прекратить. Заметить время и сменить приемник(7) на новый. При наличии большого несоответствия определение V повторить и одновременно снять показания обозначенных выше 4-х термометров. Если эти показания остались прежними, а определяемые расходы нагреваемой воды совпали, опыт прекратить. При этом все данные своевременно записывать в таблицу 6.

4. Прекращение процесса проводить в следующем порядке:

Таблица 6 – Форма таблицы для записи результатов измерений

Время по часам,	Время от начала периода, мин	Трубное пространство		Межтрубное пространство	
		Температура, °С		Температура, °С	
		на входе	на выходе	на входе	на выходе

- убрать подогрев паровика и дать ему слегка остыть;
- открыть запорный кран (5) на атмосферу, прекратить подачу нагреваемой воды в холодильник (кран (3) закрыть);
- замерить и записать количество конденсата в работавшем в рабочем периоде приемнике (7), опорожнить его, а также приемники (7), использованные до и после рабочего периода, и емкости (8) и (9);
- все оборудование и оснащение поместить в предназначенные для их хранения места, навести должный порядок на рабочем месте.

Обработка результатов эксперимента

1. По данным таблиц 5 и 6, с привлечением необходимых справочных данных и размеров холодильника, а также формулы (9) рассчитать количество воспринятого охлаждающей водой тепла в единицу времени. Охлаждающая вода из крана на входе в холодильник может иметь температуру меньше температуры в лаборатории, а на выходе из холодильника, наоборот, выше. Это приведет к тому, что на какой-то части холодильника вода будет нагреваться не только за счет конденсации пара, но и в результате теплопередачи от воздуха лаборатории. На другой же части холодильника нагреваемая вода за счет конденсации пара будет часть тепла терять на теплопередачу в окружающую среду. Учесть все это довольно непросто в расчете и, наоборот, весьма просто в эксперименте, имея в виду количество собранного за рабочий период конденсата. Поэтому рассчитанное по формуле (9) количество тепла нужно проверить, исходя из количества собранного в приемник (7) конденсата за время рабочего периода.

2. На основе данных табл. п.3 рассчитать среднелогарифмическую разность температур (температурный напор)

3. Используя формулу (10) определить величину коэффициента теплопередачи.

Контрольные вопросы

Контрольные вопросы приведены в конце лабораторных работ №1 и 2.

Содержание

	стр
Лабораторная работа №1. Охлаждение жидкости в условиях неустановившегося теплового режима.....	3
Лабораторная работа №2. Экспериментальное определение параметров основного уравнения теплопередачи в стационарном режиме протекания теплового процесса.....	8
Лабораторная работа №3. Нагревание водяным паром.....	15