

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И.Ленина»

Кафедра теоретических основ теплотехники

**Определение коэффициента
теплоотдачи при конденсации пара
методом имитационного моделирования**

Методические указания для проведения
лабораторной работы по дисциплине
«Тепломассообмен»

Иваново 2008

Составитель: И. А. Козлова

Редактор: Т.Е.Созинова

Методические указания предназначены для студентов дневных и заочного факультетов, изучающих курс "Тепломассообмен", "Теоретические основы теплотехники" и "Теплотехника".

Указания содержат основные теоретические положения о процессе конденсации пара, описание экспериментальной установки и порядок проведения опытов на имитационной модели с использованием ЭВМ по определению коэффициента теплоотдачи при конденсации. В методических указаниях приведён алгоритм обработки полученных данных и представления результатов, а также вопросы для подготовки к отчёту по лабораторной работе.

Методические указания могут быть полезны для самостоятельной работы студентов во время подготовки к автоматизированному контролю, экзамену, курсовой работе.

Методические указания утверждены цикловой методической комиссией ТЭФ.

Рецензент

кафедра ТОТ Ивановского государственного энергетического университета

СОДЕРЖАНИЕ

Цель работы	4
ОСНОВЫ ТЕОРИИ	
1. Введение	4
2. Уравнение конвективной теплоотдачи Коэффициент конвективной теплоотдачи	5
3. Критерий Рейнольдса при конденсации	6
4. Критерии подобия и физические комплексы	7
5. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи на вертикальной и наклонной поверхностях (стенка, труба и др.)	8
6. Расчет локального коэффициента теплоотдачи на вертикальной поверхности	10
7. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи на поверхности горизонтальной трубы	10
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА	
8. Инструкция для пользователя программой	11
9. Описание экспериментальной установки	12
10. Порядок проведения опыта	14
11. Обработка результатов измерений	15
12. Требования к оформлению отчета	17
13. Контрольные вопросы для отчета по работе	17
Библиографический список	18

Цель работы

Экспериментально установить влияние температурного напора на интенсивность теплоотдачи при пленочной конденсации пара на поверхности вертикальной трубы.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ

1. Введение

Известны следующие элементарные виды теплообмена: **теплопроводность, конвекция теплоты и тепловое излучение.**

Сочетание теплопроводности и конвекции, наблюдаемое в жидкостях, называют **конвективным теплообменом**. Если конвективный теплообмен происходит между поверхностью и жидкостью, омывающей эту поверхность, то такой вид теплообмена называют **конвективной теплоотдачей**.

В зависимости от фазового состояния жидкости различают **теплоотдачу в однофазной среде** и **теплоотдачу при фазовых превращениях**, например при конденсации (переход пара в жидкость) и при кипении (переход жидкости в пар). При конденсации пара выделяется теплота фазового перехода (скрытая теплота парообразования).

Условия протекания стационарного процесса конденсации:

- 1) температура стенки t_c должна быть ниже температуры насыщения t_n при данном давлении;
- 2) отвод теплоты от поверхности, на которой образуется конденсат.

Пленочная конденсация возможна при условии смачивания конденсирующейся жидкостью данной поверхности. При этом конденсат стекает с поверхности теплообмена в виде пленки. На плохо смачивающихся (загрязненных) поверхностях наблюдается **капельная конденсация**, при которой конденсат образуется в виде капель разных размеров. В теплообменных устройствах пленочная конденсация наблюдается чаще, чем капельная. Далее приводится расчет теплоотдачи при пленочной конденсации водяного пара.

2. Уравнение конвективной теплоотдачи. Коэффициент конвективной теплоотдачи

При конденсации, как и во всех других процессах теплоотдачи, используют уравнение теплоотдачи. Согласно уравнению конвективной теплоотдачи, называемому также **законом Ньютона**, тепловой поток прямо пропорционален разности температур жидкости и стенки и площади поверхности теплообмена:

$$Q = \alpha \cdot (t_H - t_C) \cdot F, \quad (1)$$

или
$$Q = \alpha \cdot \Delta t_\alpha \cdot F, \quad (2)$$

или
$$q = \alpha \cdot \Delta t_\alpha, \quad (3)$$

где Q - тепловой поток, Вт;

$q = Q/F$ - поверхностная плотность теплового потока, Вт/м²;

α - коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$\Delta t_\alpha = t_H - t_C$ - температурный напор теплоотдачи, °С;

F - площадь поверхности теплообмена (стенки), м²;

t_C - температура поверхности теплообмена (стенки), °С;

$t_H = t_{ж}$ - температура жидкости вдали от стенки (полагаем, что она постоянна вдоль всей поверхности теплообмена и равна температуре насыщения конденсирующейся жидкости при заданном давлении), °С.

Коэффициент пропорциональности α в этом уравнении называют **коэффициентом конвективной теплоотдачи**. Величина коэффициента теплоотдачи зависит от большого числа различных факторов:

- а) физических свойств жидкости;
- б) скорости движения жидкости;
- в) формы, размеров и ориентации в пространстве поверхности теплообмена;
- г) величины температурного напора и т.п.

Средний коэффициент теплоотдачи от пара к стенке вычисляют по формуле:

$$\bar{\alpha} = \frac{Q}{F(t_H - t_C)}, \text{ Вт/(м}^2 \text{ град)}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет опытным путем определить средний коэффициент теплоотдачи посредством измерения величин Q , F , t_C и t_H .

Во многих случаях требуются значения коэффициентов теплоотдачи в отдельных точках поверхности теплообмена, то есть локальные (местные) значения. **Локальные коэффициенты конвективной теплоотдачи** характеризуют теплоотдачу в окрестности заданной точки (x) и входят в состав локального уравнения теплоотдачи:

$$dQ_x = \alpha_x \cdot |t_x - t_H| \cdot dF, \quad (5)$$

или
$$q_x = \alpha_x \cdot (\Delta t_{\alpha})_x, \quad (6)$$

где dF – элементарная (бесконечно малая) поверхность теплообмена в окрестности точки x , м^2 ; dQ_x – элементарный тепловой поток, Вт; $q_x = dQ_x/dF$ – локальная плотность теплового потока, Вт/м^2 ; α_x – локальный коэффициент конвективной теплоотдачи, $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $(\Delta t_{\alpha})_x = t_H - t_x$ – локальный температурный напор, $^{\circ}\text{C}$; t_x – локальная температура поверхности (стенки), $^{\circ}\text{C}$; $t_{ж}$ – температура жидкости вдали от стенки (полагаем, что она постоянна вдоль всей поверхности теплообмена), $^{\circ}\text{C}$.

3. Критерий Рейнольдса при конденсации

Интенсивность теплоотдачи при пленочной конденсации зависит от режима течения пленки конденсата, который определяется по значению критерия Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{V \cdot R_0}{\nu}, \quad (7)$$

где V – средняя скорость течения пленки в данном сечении, м/с;
 $R_0 = \delta$ – толщина конденсатной пленки, м; ν – кинематический коэффициент вязкости пленки, м²/с.

При течении пленки конденсата различают три режима: ламинарный, волновой и смешанный. **Волновой режим** течения характеризуется наличием волн на поверхности ламинарной конденсатной пленки. При **смешанном режиме** течения на разных участках поверхности теплообмена одновременно существует ламинарный и турбулентный режимы стекания пленки конденсата и на поверхности пластины (трубы) рассматривают два участка:

а) верхний участок занят ламинарным пограничным слоем; возможен переход к волновому режиму;

б) нижний участок занят развитым турбулентным пограничным слоем.

Экспериментально установлено критическое число Рейнольдса $Re_{кр}$. При $Re < Re_{кр}$ имеет место ламинарный режим течения. При $Re \geq Re_{кр}$ – смешанный режим течения.

4. Безразмерные величины (критерии подобия) и физические комплексы

Таблица 4.1

$Z = \ell_0 \cdot \Delta t \cdot A(t_H)$	Приведенная высота
$Re = \alpha \cdot \ell_0 \cdot \Delta t \cdot B(t_H)$	Число Рейнольдса
$A(t_H) = \left(\frac{g}{\nu^2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{\lambda}{r \cdot \mu} \quad B(t_H) = \frac{4}{r \cdot \mu}$	Комплексы, зависящие от t_H (для воды см. табл. 2.1)
$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{\lambda_c}{\lambda}\right)^3 \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_c}\right) \right]^{\frac{1}{8}}$	Поправка, учитывающая зависимость свойств конденсата от температуры

Здесь α - искомый коэффициент теплоотдачи;

l_0 - характерный размер;

$\Delta t = t_H - t_C$ - температурный напор;

t_H - температура насыщения;

t_C - температура стенки;

μ, λ, ν - свойства конденсата, выбранные при температуре t_H ;

μ_C, λ_C - свойства конденсата, выбранные при температуре t_C ;

g - ускорение силы тяжести;

r - удельная теплота фазового перехода.

Таблица 4.1 Значения A и B для воды

$t_H,$ °C	$A,$ 1/(м·°C)	$B \cdot 10^3,$ м/Вт	$t_H,$ °C	$A,$ 1/(м·°C)	$B \cdot 10^3,$ м/Вт
20	5,16	1,62	170	136	12,04
30	7,88	2,06	180	150	12,90
40	11,4	2,54	190	167	14,02
50	15,6	3,06	200	182	15,05
60	20,9	3,62	210	197	16,08
70	27,1	4,22	220	218	17,63
80	34,5	4,88	230	227	18,40
90	42,7	5,57	240	246	19,78
100	51,5	6,28	250	264	21,32
110	60,7	6,95	260	278	22,70
120	70,3	7,65	270	296	24,42
130	82,0	8,47	280	312	26,31
140	94,0	9,29	290	336	28,72
150	107	10,15	300	354	31,21
160	122	11,09			

5. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи на вертикальной и наклонной поверхностях (стенка, труба и др.)

Характерные величины:

$l_0 = h$ - высота поверхности;

$t_0 = t_H$ - температура насыщения.

Теплоотдача при ламинарном движении пленки

$Z < 1,08$ ($Re < 4$):

а) безразмерная формула: $Re = 3,77 \cdot Z^{0,75} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_\varphi$; (8)

б) размерная формула: $\bar{\alpha} = 0,943 \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot h}} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_\varphi$, (9)

где $\varepsilon_\varphi = \sqrt[4]{\cos(\varphi)}$ - поправка, учитывающая отклонение поверхности от вертикали;

φ - угол отклонения от вертикали;

ρ , λ , μ - свойства пленки конденсата, взятые при температуре t_H ;

r - удельная теплота фазового перехода.

В ламинарной области формулы для расчета теплоотдачи при конденсации неподвижного пара на вертикальных поверхностях и горизонтальных трубах были получены **Нуссельтом** [1] теоретически с учетом влияния конвективного переноса теплоты через конденсатную пленку и сил инерции, влияния изменения физических параметров конденсата и влияния волнового характера течения пленки.

Теплоотдача при ламинарно-волновом движении пленки

$1.08 \leq Z \leq 2300$ ($4 \leq Re \leq 1600$):

$$Re = 3,8 \cdot Z^{0,78} \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_\varphi. \quad (10)$$

Теплоотдача при смешанном движении пленки

$Z > 2300$ ($1600 > Re$):

$$Re = \left[253 + 0,069 \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_C} \right)^{0,25} \cdot Pr^{0,5} \cdot (Z - 2300) \right]^{\frac{4}{3}}, \quad (11)$$

где Pr , Pr_C - числа Прандтля, взятые при температурах t_H и t_C , соответственно.

Для расчета средней теплоотдачи при смешанном характере течения конденсатной пленки на вертикальных поверхностях была принята формула **Д.А.Лабунцова** [2]. Действительно, критерий Re , вычисленный из [2], характеризует общее количество конденсата, стекающего со всей поверхности конденсации при наличии смешанного режима течения пленки, а, следовательно, определяет одновременно и общее количество теплоты, переданного к поверхности конденсации.

6. Расчет локального коэффициента теплоотдачи на вертикальной поверхности

При ламинарном режиме стекания пленки конденсата ($Z < 1.08$, $Re < 4$) могут быть определены толщина пленки и локальный коэффициент теплоотдачи в точке с координатой x :

$$\delta_x = 4 \sqrt{\frac{4 \cdot \mu \cdot \Delta t \cdot x \cdot \lambda}{r \cdot g \cdot \rho^2}}; \quad (12)$$

$$\alpha_x = 4 \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{4 \cdot \mu \cdot \Delta t \cdot x}}. \quad (13)$$

Здесь свойства пленки конденсата ρ , λ , μ выбирают при температуре насыщения t_H .

7. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи на поверхности горизонтальной трубы

Характерные величины:

$\ell_0 = d_H$ - наружный диаметр трубы;

$t_0 = t_H$ - температура насыщения.

Теплоотдача при ламинарном движении пленки

($d_H < 20 \cdot \sqrt{\sigma / (\rho \cdot g)}$):

а) безразмерная формула: $Re = 2,91 \cdot Z^{0.75} \cdot \varepsilon_i$; (14)

б) размерная формула: $\bar{\alpha} = 0,728 \cdot 4 \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3}{\mu \cdot \Delta t \cdot d_H}} \cdot \varepsilon_i$. (15)

Здесь σ , ρ , λ , μ - свойства пленки конденсата, взятые при температур t_H ; r - удельная теплота фазового перехода

Теплоотдача при ламинарно-волновом движении пленки
($d_H > 20 \cdot \sqrt{\sigma/(\rho \cdot g)}$):

$$\text{Re} = 2,87 \cdot Z^{0.78} \cdot \varepsilon_t, \quad (16)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА

8. Инструкция для пользователя программой

Опыт проводится на ЭВМ с помощью программы имитационной математической модели, реализующей процесс пленочной конденсации пара. Программа размещена в папке $\bar{\alpha}_{\text{конд}} = f(\Delta t)$

на ЭВМ в компьютерном классе кафедры ТОТ. Выполнение программы осуществляется в следующей последовательности:

1. Активируется запускаемый файл - **Station.exe** и появляется запрос ввода пароля;
2. Вводится пароль (информация о пароле находится у преподавателя), если пароль не установлен, то просто нажимается кнопка «введите пароль»;
3. Программа имеет многооконный интерфейс. Управление окнами осуществляется из меню главного окна, отображенного при ее запуске;
4. В разделе «теория-теория» можно ознакомиться с основными теоретическими положениями работы, с методикой расчета процесса; выполнить тестирование знаний студентов, полученных ими. По нажатию кнопки «Тест» программа запрашивает данные студента. Данные о студенте заносятся в специальный файл-отчет. После регистрации студенту предлагается выполнить тест:

исходные данные - геометрические размеры трубы и ее расположение в пространстве; давление и степень сухости пара; температуру наружной поверхности трубы;

определяемые величины - режим стекания пленки конденсата; коэффициент теплоотдачи от пара к трубе; массовый расход конденсата образующегося на поверхности. Если вычисления были верны, то после нажатия кнопки «Ответ» появляется окошко с сообщением об оценке. Допустимая погрешность в расчетах 5%. По заданию преподавателя, устанавливается или нет время на решение (таймер). Оценка студента выдается на экран монитора и заносится в файл-отчет. Данные о результатах тестирования студентов в файле-отчете можно посмотреть в основном меню, нажав кнопку «Помощь», выбрав подпункт «Просмотр результатов».

9. Описание экспериментальной установки

Схема установки представлена на рис.3.1. Основным элементом установки является **опытная трубка 1** наружным диаметром $d=12$ мм и высотой $h=600$ мм. Охлаждающая вода поступает в опытную трубку 1 из водопровода через уравнильный бак 19, обеспечивающий постоянство напора. Опытная трубка помещена внутри корпуса с двойными стенками.

Пар поступает в **рабочее пространство корпуса конденсатора 2** через патрубок, расположенный справа. Пар, соприкасаясь с холодной поверхностью трубки, конденсируется. Напротив парового патрубка установлен отбойный щиток **3**, предотвращающий срыв пленки конденсата с поверхности трубки струей пара, вытекающего из входного патрубка. Пройдя через рабочее пространство 2 конденсатора, пар через щели во внутренней стенке корпуса поступает в **паровую рубашку 4**. Применение паровой рубашки исключает потери теплоты в окружающую среду.

Температура и давление пара на входе в конденсатор измеряются с помощью термомпары **6** и манометра **5** (на математической модели установки фиксируется абсолютное значение). Температуры охлаждающей воды на входе в опытную трубку и выходе из нее определяется с помощью термомпар **7** и **16**.

Конденсат, выпадающий на опытной трубке, отводится через гидравлический затвор **10**. Затвор необходим, чтобы пар не прорывался вместе с конденсатом наружу. Температура конденсата измеряется термомпарой **11**. Расход конденсата определяется объемным методом с помощью бака **9**.

Для измерения температуры t_c на внешней поверхности опытной трубки в стенку ее заложены горячие спаи пяти термомпар **12**. Концы термомпар выведены к переключателю **10**. Холодный спай термомпар выведен в нуль-термостат **15**, автоматически поддерживающий температуру $t = 0^{\circ}\text{C}$. Температура термомпар фиксируется при помощи цифрового электронного термометра **13** (на математической модели установки в $^{\circ}\text{C}$).

Расход охлаждающей воды регулируется клапаном **8** и определяется с помощью измерительной диафрагмы **17**. Перепад давления на диафрагме зависит от расхода воды. Этот перепад измеряется дифференциальным манометром в комплекте с цифровым вольтметром **18**.

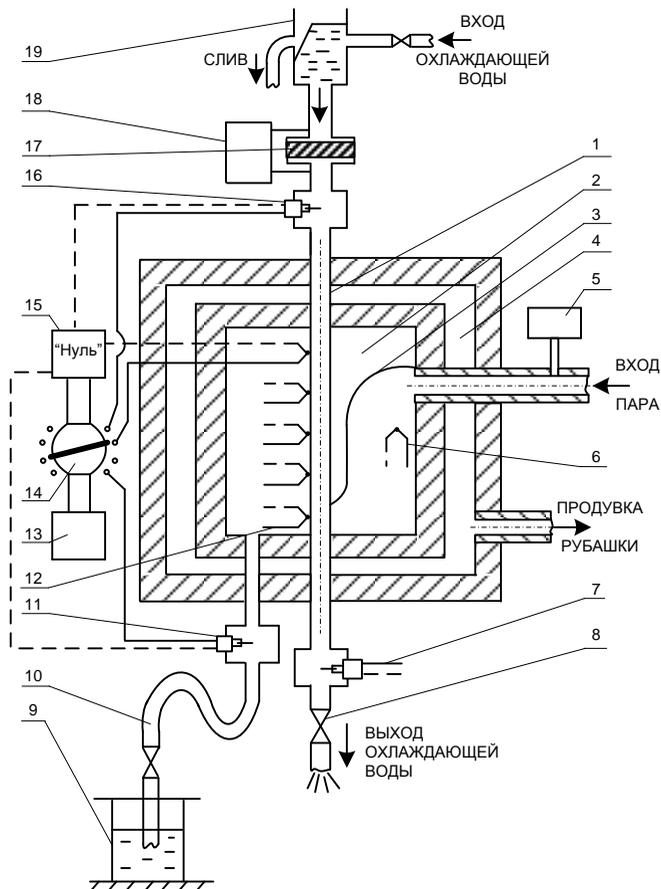


Рис.9.1. Схема экспериментальной установки:

- 1 - опытная трубка ; 2 - рабочее пространство опытного участка;
- 3 - отбойный щиток ; 4 - паровая рубашка;
- 5 - прибор, фиксирующий давление; 6, 7, 11, 12, 16 - термопары;
- 8 - регулирующий вентиль; 9 - расходомерный бак;
- 10 – гидравлический затвор; 13 - прибор, фиксирующий температуру;
- 14 - переключатель термопар; 15 - нуль-термостат; 17 - расходомерная диафрагма;
- 18 - прибор, фиксирующий расход воды; 19 - уравнильный бачок.

10. Порядок проведения опыта

1. Давление пара p задать в пределах от 1 до 90 бар (на математической модели установки фиксируются абсолютные значения давления и температуры).
2. По таблице физических свойств воды и водяного пара [4] при заданном давлении пара p определить температуру насыщения t_H .
3. Значение температуры пара t задать примерно равным значению температуры насыщения t_H . Питая конденсатор целесообразно сухим насыщенным или слегка перегретым паром, поскольку определением влажности пара представляет известные трудности.
4. Заполнить таблицу 10.1.
5. Активизировать запускаемый файл. Ввести пароль. Войти в раздел «Опыт» и установить принятые значения давления p и температуры t в верхнем левом окне на экране монитора.
6. Нажать кнопку «Пуск». Включается питание электроприборов. В опытную трубку подается охлаждающая вода, а затем пар. Тонкая пленка конденсата образуется на поверхности опытной трубки.
7. Нажать кнопку «Опыт». На математической модели установки температура стенки t_C устанавливается сама таким образом, что температурный напор $\Delta t = t_H - t_C$ меняется в интервале $10 \div 30$ °С. В реальной установке температура стенки регулируется путем изменения расхода охлаждающей воды в опытной трубке регулировочным вентилем 8.
8. Устанавливается стационарный тепловой режим. Подача пара осуществляется автоматически в таком количестве G , кг/ч, при котором температура стекающего с опытной трубки конденсата будет близка к температуре насыщения, т.е. не допускается переохлаждение конденсата ниже температуры насыщения и прорыв пара наружу вместе с конденсатом.
9. Результат опыта сводится в таблицу 10.2.
10. Следующие три-четыре опыта проводятся при других температурах стенки t_C . Для этого необходимо вернуться к пункту 7.

Журнал наблюдений и обработки экспериментальных данных

Таблица 10.1

Давление пара p , МПа	Температура пара t , °С	Температура насыщения t_H , °С

Таблица 10.2

Температура стенки, °С	t_c				
Расход конденсата, кг /ч	G				
Температурный напор, °С	$\Delta t = t_H - t_c$				
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² град)	$\bar{\alpha}_{ЭКСП}$				
Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² град)	$\bar{\alpha}_{ТЕОР}$				
Критерий Нуссельта	Nu / ε_t				
Критерий Рейнольдса	Re				

Дата «__»__200 г. Подпись преподавателя_____

11. Обработка результатов эксперимента

1. Тепловой поток вычисляют по уравнению:

$$Q = G(h - h'), \text{ Bm}, \quad (17)$$

где G – расход конденсата, кг/с ;

h – энтальпия пара при входе в конденсатор (определяют с помощью таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара [4] по давлению пара p и его температуре t), Дж/кг;

h' – энтальпия конденсата в состоянии насыщения, т.е. жидкости в состоянии насыщения (определяют при давлении пара p).

2. Средний коэффициент теплоотдачи от пара к стенке вычисляют по формуле:

$$\bar{\alpha}_{\text{эклп}} = \frac{Q}{F(t_n - t_c)}, \text{ Вт / (м}^2 \text{ град)}, \quad (18)$$

где Q – тепловой поток, передаваемый от пара к трубке, Вт;

$F = \pi d H$ – площадь поверхности теплообмена, м²;

H – высота опытной трубки, м;

d – наружный диаметр опытной трубки, м;

t_n, t_c – температуры насыщения пара и поверхности стенки соответственно.

3. Результаты расчетов записывают в журнал наблюдений и обработки экспериментальных данных (табл.10.2)

4. В масштабе строят зависимость $\bar{\alpha}_{\text{эклп}} = f(\Delta t)$.

5. На этом же графике изображают зависимость $\bar{\alpha}_{теор} = f(\Delta t)$, построенную по теоретическим формулам (8)-(11).
6. По указанию преподавателя опытные данные приводят к безразмерному виду. Вычисляют критерии Нуссельта и Рейнольдса :

$$\frac{Nu}{\varepsilon_t} = \frac{\bar{\alpha} \cdot \ell_k}{\lambda} = \frac{\bar{\alpha}}{\lambda} \cdot \left(\frac{v^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (19)$$

$$Re = \alpha \Delta t \cdot H \frac{4}{r \rho \nu} = \frac{Q}{\pi d} B,$$

(20)

где B – комплекс физических свойств (для воды смотри таблицу 4.1.); м /Вт;

ν - коэффициент кинематической вязкости конденсата, м²/с;

λ - коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/ (м град);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Примечание: Физические свойства и комплекс физических свойств B находят при температуре насыщения t_n .

В масштабе строят зависимость критериев Нуссельта и Рейнольдса при двух –трех значениях давления.

12.Требования к оформлению отчета

Отчет должен включать следующие разделы:

1. Цель работы.
2. Схема экспериментальной установки.
3. Журнал наблюдений, подписанный преподавателем.
4. Расчет.
5. Построенные в масштабе на одной координатной сетке зависимости $\bar{\alpha}_{эктн} = f(\Delta t)$ и $\bar{\alpha}_{теор} = f(\Delta t)$.
6. Вывод.

13. Контрольные вопросы для отчета по работе

1. Поясните принцип работы экспериментальной установки и назначение элементов по схеме установки.
2. Какие величины замерялись в эксперименте, и какими приборами? Укажите узел замера расхода охлаждающей воды на экспериментальной установке?
3. Какой пар подавался в конденсатор в вашем эксперименте – сухой насыщенный, перегретый или влажный насыщенный?
4. Какой пар называется сухим насыщенным?
5. Какой пар называется перегретым?
6. Как вычисляют энтальпию сухого насыщенного и перегретого пара?
7. Дайте определение понятий конвекция, конвективный теплообмен, конвективная теплоотдача.
8. Чем отличается конвективная теплоотдача при конденсации от конвективной теплоотдачи в однофазной среде?
9. Какой вид теплообмена исследуется в данной работе?
10. Назовите основные факторы, влияющие на величину коэффициента теплоотдачи при конденсации.
11. Дайте определение понятия конденсация. Перечислите виды конденсации и условия протекания процесса.
12. Перечислите режимы течения пленки конденсата. Напишите формулу расчета критерия Рейнольдса при конденсации.
13. Какие режимы движения пленки конденсата имели место при проведении эксперимента?
14. Входит ли в состав числа Рейнольдса для плёнки конденсата коэффициент теплоотдачи при конденсации? Напишите соответствующую формулу.
15. Зависит ли коэффициент теплоотдачи при ламинарном режиме конденсации от температурного напора? Напишите соответствующую формулу.
16. При увеличении температурного напора вдвое и при сохранении ламинарного режима конденсации может ли плотность потока теплоотдачи увеличиваться вдвое?
17. Напишите формулу Нуссельта для расчета коэффициента теплоотдачи при конденсации.

Библиографический список

1. **Nusselt W.**// Z. Ver. Deut. Ing ,1916, Bd. 60, N275, s. 541-546.
2. **Лабунцов Д.А.** Физические основы энергетики. – М. Изд. МЭИ, 2000. – 388с.
3. **Краснощеков Е.А. , Сукомел А.С.**Задачник по теплопередаче. - М.: Энергия, 1980. – 288 с.
4. **Александров А.А., Григорьев Б.А.** Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. – М.: Издательство МЭИ, 1999. - 168 с.
5. **Практикум** по теплопередаче: Уч. пособие для вузов.- М.:Энергоатомиздат,1986.-296 с.
6. **Чухин И.М.** Определение зависимости между давлением и температурой насыщенных водяных паров/ Иван. гос. энерг. ун-т. - Иваново,1998.-16 с.