

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

Кафедра энергетики

Ю. В. Путилин
С. В. Звягин
А. И. Сафронов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

Учебно-методическое руководство к лабораторной работе №8 по курсу
«Теплотехника» для студентов очного и заочного обучения
всех специальностей

Екатеринбург
2020

Печатается по рекомендации методической комиссии ИАТТС.

Протокол № 1 от 30.10.2019 г.

Рецензент – профессор, доктор техн. наук С.М. Шанчуров

Редактор Л. Д. Черных

Оператор компьютерной верстки Е. Н. Дунаева

Подписано в печать 20.03.2020		Поз. 46
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,46	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Количество тепла, которое необходимо сообщить 1 кг кипящей воды, чтобы превратить её в сухой насыщенный пар, называется теплотой парообразования, обозначается буквой r , измеряется в кДж/кг. В обратном процессе конденсации такое же количество теплоты отдаётся 1 кг сухого насыщенного пара при превращении его в конденсат. В данной работе для определения величины « r » используют метод конденсации сухого насыщенного пара с определением количества тепла, выделяемого в процессе.

Оба этих процесса – кипение воды и конденсация пара, происходят только в состоянии насыщения, которое характеризуется установлением термодинамического равновесия между кипящей водой и образующимся водяным паром. Теплота парообразования (конденсация) является важнейшей характеристикой этих процессов и широко используется в тепловых расчетах.

Состояние насыщения достигается при вполне определенных значениях давления и температуры, которые, так же как и величина « r », приводятся в справочных таблицах.

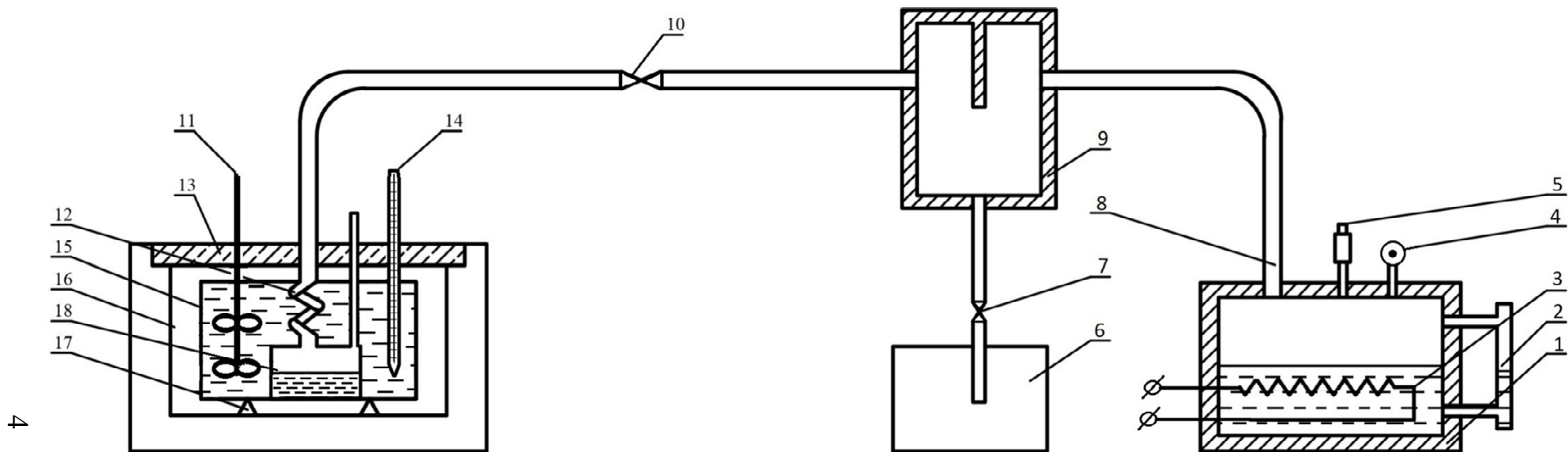
ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Экспериментальное определение теплоты парообразования воды при атмосферном давлении.
2. Сравнение опытного значения этой величины с табличным.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке. Насыщенный пар образуется в электрическом парогенераторе 1 , откуда поступает во влагоотделитель 9 . Во влагоотделителе происходит отделение уносимых из парогенератора капелек воды. Сухой насыщенный пар направляется в змеевик 12 , где конденсируется, а полученная при этом вода накапливается в сборнике конденсата 18 .

Все тепло, выделяющееся в процессе конденсации пара, расходуется на нагревание охлаждающей воды, металлического бачка, мешалки, змеевика и сборника конденсата. Определив количество выделившегося тепла и массу полученного конденсата, можно рассчитать теплоту парообразования r .



4

Рис.3. Схема экспериментальной установки:

1 – парогенератор; 2 – водомерное стекло; 3 – электронагреватель; 4 – манометр; 5 – предохранительный клапан; 6 – бак; 7 – вентиль;
 8 – паропровод; 9 – влагоотделитель; 10 – вентиль; 11 – мешалка; 12 – змеевик; 13 – крышка; 14 – термометр; 15 – бачек с холодной водой;
 16 – калориметр; 17 – опоры; 18 – сборник конденсата

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Электронагреватель 3 включают при закрытом кране 10 и открытом кране 7 для того, чтобы образовавшийся пар в начале опыта поступал в сборный бак 6. В то время, пока происходит нагревание воды в парогенераторе, определяют массу бака m_1 , массу воды в баке m_2 , массу змеевика m_3 и массу мешалки m_4 . Бак с водой устанавливают на опоры 17 в калориметр 16, а змеевик помещается в бак. С помощью термометра 14 измеряют температуру воды в баке t_1 . Атмосферное давление измеряется барометром.

После появления пара в сборном баке 6 открывают кран 10 и закрывают кран 7. Пар направляется в змеевик 12, где осуществляется его конденсация. При проведении опыта необходимо непрерывно перемешивать воду с помощью мешалки 11. Пар поступает в змеевик до тех пор, пока в выходной трубке сборника конденсата не появятся первые капли воды. Температура воды в охлаждающем баке при этом не должна быть выше $75 \div 80^\circ$. Заканчивая опыт, открывают кран 7, закрывают кран 10 и отключают нагреватель парогенератора. Конечную температуру воды в баке t_2 измеряют термометром при непрерывном перемешивании воды.

Результаты измерений вносят в табл. 1.

Теплоту парообразования определяют из уравнения теплового баланса:

$$Q_k = Q_n + Q_{kn} , \quad (1)$$

где Q_k – тепло, полученное калориметром;

Q_n – тепло, отданное насыщенным паром при его конденсации;

Q_{kn} – тепло, отданное конденсатом при его охлаждении от температуры кипения до конечной температуры.

Составляющие теплового баланса рассчитывают следующим образом:

$$Q_k = W_k(t_2 - t_1) , \quad (2)$$

W_k – водяной эквивалент калориметра, равный:

$$W_k = m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3 + m_4 c_4 , \quad (3)$$

$$Q_{kn} = m_2 c_2 (t_H - t_1) , \quad (4)$$

$$Q_n = m_k r . \quad (5)$$

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов

Наименование величины	Обозначение	Значение величины	Примечание
Масса бака, кг	m_1		
Масса воды, кг	m_2		
Масса змеевика, кг	m_3		
Масса мешалки, кг	m_4		
Масса змеевика с конденсатом, кг	$m_3 + m_k$		
Масса конденсата, кг	m_k		
Начальная температура воды, °С	t_1		
Конечная температура воды, °С	t_2		
Атмосферное давление, кПа	P		
Теплоемкость металла, кДж/(кг·К)	$c_1 = c_3 = c_4$	0,376	
Теплоемкость воды, кДж/(кг·К)	c_2	4,22	
Температура кипения, °С	t_H		По табл. 2
Теплота парообразования (табличная), кДж/кг	$r_{\text{табл.}}$		По табл. 2
Величина ошибки, %	Δr		

Подставляя значения Q в уравнение (1), получаем формулу для расчета теплоты парообразования γ , кДж/кг:

$$\gamma = \frac{W_k(t_2 - t_1) - m_k c_2 (t_H - t_1)}{m_k}, \quad (6)$$

Значение всех входящих в формулу (6) величин берут из таблицы 1, а водяной эквивалент W_k находят по формуле (3).

Последним этапом работы является сравнение полученного из опыта значения теплоты парообразования γ и табличного ее значения $\gamma_{\text{табл.}}$, которое берется из таблицы 2 при заданной величине атмосферного давления «Р». Расхождение между опытным и табличным значением теплоты парообразования определяют по формуле:

$$\Delta\gamma = \frac{\gamma - \gamma_{\text{табл.}}}{\gamma_{\text{табл.}}} 100\%, \quad (7)$$

Таблица 2

Зависимость теплоты парообразования $\gamma_{\text{табл.}}$ и температуры кипения t_H от давления Р

Р, кПа	$\gamma_{\text{табл.}}$, кДж/кг	t_H , °С
92	2264	97,1
94	2262	97,7
96	2261	98,3
98	2260	98,9
100	2258	99,6
102	2256	100,2
104	2255	100,8
106	2252	101,4
108	2251	102
110	2250	102,6

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен включать следующие разделы:

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная схема опытной установки.
3. Результаты измерений и расчетов (табл.1).
4. Оценка погрешности экспериментов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется теплотой парообразования?
2. Что такое состояние насыщения?
3. Как меняется теплота парообразования и температура кипения (насыщения) при изменении давления?
4. Изобразить процесс парообразования водяного пара в «P-u» и «T-s» диаграммах.



Ю. В. Путилин
С. В. Звягин
А. И. Сафронов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ВОДЫ

Екатеринбург
2020