

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ И НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Составители Е. Ю. Темникова
В. Н. Сливной
С. А. Шевырев

Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры
Протокол № 5 от 09.12.2015
Рекомендованы к печати
учебно-методической комиссией
направления 13.03.01
Протокол № 5 от 09.12.2015
Электронная копия
находится в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является экспериментальное нахождение термодинамической зависимости давления воды и насыщенного водяного пара от температуры.

Задача – провести сравнение экспериментальных данных с расчетными и табличными данными из литературного источника.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При рассмотрении фазовых равновесий важную роль играет правило фаз Гиббса. Оно устанавливает зависимость между числом независимых переменных, определяющих состояние термодинамической системы, находящейся в равновесии (эти независимые переменные называют *степенями свободы системы*), числом фаз и числом компонент системы:

$$\Psi = n - p + 2,$$

где Ψ – число степеней свободы термодинамической системы; n – число компонент системы; p – число фаз в системе.

Система, состоящая из чистого вещества, содержащая две фазы, находящиеся в равновесии между собой, обладает согласно правилу фаз одной степенью свободы; то есть независимыми переменными, полностью определяющими равновесное состояние каждой фазы системы, могут являться, например, давление P_n или температура T_n . Если знаем, например, температуру фазового перехода, то она однозначно определяет собой все другие термодинамические величины каждой из фаз – давление в точке перехода, плотности вещества в каждой из сосуществующих фаз, энтальпии, энтропии и т.д.

Линию фазового перехода можно изобразить на P - T диаграмме, если нанести состояния, соответствующие давлениям и температурам фазового перехода.

Опытами установлено, что каждому давлению соответствует определенная температура кипения данной жидкости (температура ее насыщенного пара), причем, согласно уравнению Клапейрона-Клаузиуса, для всех жидкостей температура кипения возрастает с повышением давления. При этом давление и температура насыщенного пара взаимно определяют одна другую, будучи связаны между собой уравнением общего вида

$$P_n = f(T_n) \text{ или } T_n = f_1(P_n). \quad (1)$$

Уравнение (1) в явном виде получают либо приведением к эмпирической формуле результатов опытных наблюдений над данной жидкостью, либо интегрированием уравнения Клапейрона-Клаузиуса, записываемого применительно к фазовому переходу «жидкость-пар» следующим образом:

$$\frac{dP_n}{dT_n} = \frac{r}{T_n(\nu'' - \nu')}, \quad (2)$$

где r – удельная теплота парообразования, Дж/кг; ν'' – удельный объем насыщенного пара, м³/кг; ν' – удельный объем насыщенной жидкости, м³/кг; P_n – равновесное давление насыщения, Па; T_n – абсолютная температура, К.

Интегрирование уравнения (2) дает, в частности, зависимость при принятых допущениях: $\nu' \ll \nu''$, пар подчиняется уравнению Клайперона – Менделеева для невысоких давлений:

$$\ln \frac{P_n}{P_0} = \frac{r}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_n} \right), \quad (3)$$

где R – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К); T_0 – температура насыщения, К, при атмосферном давлении P_0 , Па.

Примечание. При атмосферном давлении $P_0 = 101325$ Па вода кипит при температуре $T_0 = 373,15$ К, при этом теплота парообразования ее равна $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг. Удельная газовая постоянная для водяного пара $R = 461$ Дж/(кг·К).

Расчетными зависимостями типа (3) на практике пользуются редко, т.к. для большинства рабочих тел P_n и T_n приводятся в таблицах насыщенных паров.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Работа выполняется с использованием лабораторного стенда, схема которого представлена на рис. 1. В качестве рабочего тела используется дистиллированная вода, которая находится в сосуде 1. К воде подводится тепло с помощью электрического нагревателя 2. По вакуумметру 3 и прибору (ОВЕН) 4 снимаются показания давления (разрежения) и температуры воды и насыщенного пара.

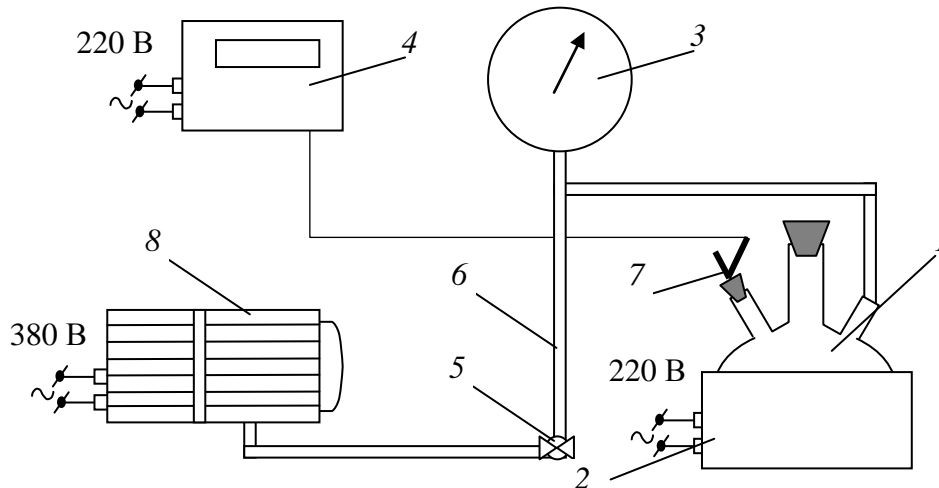


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторного стенда:
 1 – герметичный сосуд; 2 – электрический нагреватель;
 3 – вакуумметр; 4 – прибор для измерения температуры (ОВЕН);
 5 – вентиль; 6 – трубопровод; 7 – термопара; 8 – вакуум-насос

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом опыта следует изучить правила техники безопасности и строго их выполнять.

1. Измерить атмосферное давление окружающего воздуха по барометру и записать в табл. 1.

2. Открыть вентиль 5.

3. Включить в электрическую цепь прибор для измерения температуры (ОВЕН) 4 и электрический нагреватель 2.

4. Дождаться нагрева воды до температуры 55 °С.

5. Для создания разрежения в сосуде включить вакуум-насос 8.

6. После этого **медленно** поворачивая вентиль 5 довести воду в герметичном сосуде 1 до состояния кипения.

7. Произвести измерения температуры и давления разрежения.

8. **Полностью открыть вентиль 5.**

9. Продолжить нагрев воды, например, до температуры 60 °С.

10. Опять медленно поворачивая вентиль 5 довести воду до кипения и снять результаты. Таким образом сделать 6-8 измерений, учитывая, что максимальная температура может быть ≈ 95 °С. Результаты измерения заносить в табл. 1.

11. Отключить вакуум-насос 8, нагреватель 2, ОВЕН 4 от сети.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

1. Давление разрежения, полученное при проведении работы, переводят из килограмм силы на квадратный сантиметр ($\text{кгс}/\text{см}^2$) в мегапаскали (МПа) из соотношения

$$1 \text{ кгс}/\text{см}^2 \approx 0,1 \text{ МПа},$$

а температуру – из градусов Цельсий ($^{\circ}\text{C}$) в градус Кельвин (К)

$$1^{\circ}\text{C} = 273 \text{ К}.$$

2. Вычисляют опытное абсолютное давление воды и насыщенного пара по формуле

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{вак}}.$$

3. Далее из формулы (3) рассчитывают абсолютное давление воды и насыщенного пара, задаваясь опытными значениями температуры,

$$P_{\text{н}} = P_0 \cdot e^{\frac{r}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{\text{н}}} \right)} \quad (4)$$

4. Строят график зависимости $P_{\text{н}} = f(T_{\text{н}})$, на котором изображают **три линии**:

- а) по результатам проведенного опыта;
- б) по табличным данным (см. приложение);
- в) по результатам расчета по формуле (4).

Таблица 1

№	Давление разрежения воды и водяного пара, $P_{\text{вак}}$		Температура воды и пара, $T_{\text{н}}$		Атмосферное давление, $P_{\text{атм}}$, МПа	Абсолютное давление воды и пара $P_{\text{н}}$, МПа	
	$\text{кгс}/\text{см}^2$	МПа	$^{\circ}\text{C}$	К		опытное	по формуле (4)
1.							
2.							
...							

6. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

В процессе выполнения лабораторной работы следует тщательно выполнять требования общей инструкции по технике безопасности в лаборатории и, кроме того, учитывать, что некото-

рые элементы стенда при выполнении настоящей работы **нагреваются до температур, способных вызывать ожоги**, а также то, что в сосуде создается некоторый вакуум и **резкая разгерметизация его недопустима**.

Не допускайте также повышения давления выше 1 кгс/см^2 , так как вакуумметр предназначен для измерения разрежения, а получение избыточного давления приведет к поломке прибора.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) кратко изложенные теоретические положения;
- 3) принципиальную схему лабораторной установки;
- 4) таблицу измеренных и расчетных величин;
- 5) обработку результатов;
- 6) график;
- 7) выводы по работе.

Чертежи, схемы и таблицы следует оформлять в соответствии с ГОСТ 2.105-95 «Общие положения».

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется парообразованием, испарением и кипением?
2. Дать понятие конденсации, плавления, затвердевания, сублимации, десублимации.
3. Какой пар называется влажным насыщенным, сухим насыщенным, перегретым?
4. Что такое степень сухости и степень влажности, их взаимосвязь?
5. При каких условиях происходит процесс кипения?
6. Критическая точка воды, параметры.
7. Что такое теплота парообразования, как рассчитывается, единицы измерения?
8. Правило фаз Гиббса, привести пример.
9. $T-S$ диаграмма для воды и водяного пара (качественно).
10. $i-S$ диаграмма воды и водяного пара.

11. Раскройте связь абсолютного давления и температуры кипения жидкости.

12. Чем объясняется линейный характер зависимости $1/T_H = f(P_H)$ при давлениях, далеких от критического?

9. ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.

2. Нащокин, В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособие для вузов / В. В. Нащокин. – М. : Высш. шк., 1980. – 469 с.

3. Мазур, Л. С. Техническая термодинамика и теплотехника: учебник / Л. С. Мазур. – М. : ГЭОТАР-МЕД, 2003. – 352 с.

4. Теплотехника: учеб. для вузов / В. Н. Луканин [и др.]; под общ. ред. В. Н. Луканина. – М. : Высш. шк., 2003. – 671 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Зависимость давления от температуры воды и водяного пара на линии насыщения

T_H , К	P_H , МПа	T_H , К	P_H , МПа	T_H , К	P_H , МПа
326,15	0,0143	342,15	0,0298	358,15	0,0578
327,15	0,0150	343,15	0,0312	359,15	0,0601
328,15	0,0157	344,15	0,0325	360,15	0,0625
329,15	0,0165	345,15	0,0340	361,15	0,0649
330,15	0,0173	346,15	0,0354	362,15	0,075
331,15	0,0181	347,15	0,0370	363,15	0,0701
332,15	0,0190	348,15	0,0385	364,15	0,0728
333,15	0,0199	349,15	0,0402	365,15	0,0756
334,15	0,0209	350,15	0,0419	366,15	0,0785
335,15	0,0218	351,15	0,0437	367,15	0,0815
336,15	0,0229	352,15	0,0455	368,15	0,0845
337,15	0,0239	353,15	0,0474	369,15	0,0877
338,15	0,0250	354,15	0,0493	370,15	0,0909
339,15	0,0261	355,15	0,0513	371,15	0,0943
340,15	0,0273	356,15	0,0534	372,15	0,0978
341,15	0,0286	357,15	0,0556	373,15	0,101325

Составители
Елена Юрьевна Темникова
Виктор Николаевич Сливной
Сергей Александрович Шевырев

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ
ВОДЫ И НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО
ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Тепломассообмен» для студентов направления
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,
по дисциплине «Теплотехника» для студентов направления
23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин
и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»,
и специальности 21.05.04.00 «Горное дело», специализация 21.05.04.10
«Электрификация и автоматизация горного производства»,
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.02.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Уч.-изд. л. 0,3.

Тираж 20 экз. Заказ

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.