

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ФИЗИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе Т–8

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТИ»

по дисциплине

«Техническая термодинамика»

для студентов специальности 1 - 70 04 02

«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

дневной формы обучения

Брест 2013

УДК 536.632(072)

Методические указания предназначены для студентов специальности 1 - 70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» дневной формы обучения, выполняющих лабораторные работы по технической термодинамике. Указания содержат теоретические сведения, описание лабораторной установки и методики измерений, описание косвенных методов определения теплоемкости жидкости и методов обработки экспериментальных данных с учетом погрешностей, контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

Составители: Н.П. Тарасюк, доцент
А.А. Гладышук, к. ф.-м. н., доцент
Т.Л. Кушнер, к. ф.-м. н., доцент

1. Цель работы: освоить косвенные методы определения теплоемкости жидкости, изучить виды теплоемкости, определить удельную теплоемкость жидкости.

2. Приборы и принадлежности: калориметр, нагреватель, термометр, мешалка, электромотор, секундомер, исследуемая жидкость.

3. Теоретические сведения.

3.1. Понятие теплоемкости. Виды удельной теплоемкости

Теплоемкостью тела называют физическую величину, численно равную количеству теплоты, необходимому для нагревания тела на 1°C (или 1 К). Теплоемкость вычисляется по формуле:

$$C = \frac{dQ}{dT}, \quad (1)$$

где dQ – количество теплоты, подводимое к телу для изменения его температуры на величину dT .

Единицы измерения теплоемкости $[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

В зависимости от количественной единицы вещества, к которому подводится теплота, различают: удельную массовую теплоемкость, удельную мольную теплоемкость и удельную объемную теплоемкость.

Удельной массовой теплоемкостью (c) называют теплоемкость единицы массы вещества. Она определяет, какое количество теплоты необходимо подвести к 1 кг вещества для того, чтобы повысить его температуру на 1°C .

Единицы измерения удельной массовой теплоемкости $[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Удельная массовая теплоемкость равна отношению теплоемкости однородного тела к его массе. Следовательно

$$c = \frac{C}{m}. \quad (2)$$

Удельной мольной (молярной) теплоемкостью (μc) называют теплоемкость единицы количества вещества. Она определяет, какое количество теплоты необходимо подвести к одному молю вещества для того, чтобы повысить его температуру на 1°C .

Единицы измерения удельной мольной теплоемкости $[\mu c] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Удельная мольная теплоемкость равна отношению теплоемкости однородного тела к количеству вещества, содержащемуся в этом теле. Следовательно

$$\mu c = \frac{C}{\nu}. \quad (3)$$

Удельной объемной теплоемкостью (c') называется теплоемкость, отнесенная к единице объема вещества. Она определяет, какое количество теплоты не-

обходимо подвести к 1 м³ вещества для того, чтобы повысить его температуру на 1°С. Единицы измерения удельной объемной теплоемкости

$$[c'] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Удельной объемной теплоемкостью называют отношение теплоемкости тела к его объему при *нормальных физических условиях* ($p_0 = 101325 \text{ Па}$; $t_0 = 0^\circ\text{C}$):

$$c' = \frac{C}{V}. \quad (4)$$

Очевидно, что удельные теплоемкости разных видов связаны между собой. Например, удельные объемная и массовая теплоемкости:

$$c' = \rho \cdot c, \quad (5)$$

где $\rho = m/V$ – плотность вещества.

Аналогичным образом можно найти связь между теплоемкостями: массовой и мольной, мольной и объемной. Часто при упоминании вышеперечисленных удельных теплоемкостей термин «удельная» подразумевается, но не пишется.

Свойства вещества могут быть интенсивными или экстенсивными. Интенсивными называются свойства, которые не зависят от количества вещества в системе. Свойства, зависящие от количества вещества, называют экстенсивными. Из данных определений следует, что теплоемкость вещества является экстенсивным свойством тела. Удельная теплоемкость является интенсивным свойством, т.к. она не зависит от количества вещества в системе.

3.2. Средняя и истинная теплоемкость

Рассмотрим удельную массовую теплоемкость. Из приведенного определения следует:

$$c = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1}, \quad (6)$$

где t_1 – начальная температура; t_2 – конечная температура; q_{1-2} – количество теплоты, подведенной к единице массы вещества в процессе нагрева от температуры t_1 до температуры t_2 (удельное количество теплоты).

Теплоемкость не является постоянной величиной. Она изменяется с изменением температуры, причем зависимость от температуры может быть весьма значительной. Поэтому теплоемкость, определяемую выражением (6), называют средней теплоемкостью в интервале температур от t_1 до t_2 .

Кроме того, в термодинамике вводят понятие истинной теплоемкости, которую определяют как производную от количества теплоты, подводимой к телу в процессе его нагрева, по температуре:

$$c(t) = \frac{dq}{dt}, \quad (7)$$

откуда

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c(t) dt. \quad (8)$$

Если изобразить графически зависимость подведенного к телу количества теплоты от температуры, то очевидно, что вследствие переменности теплоемкости линия $q \sim f(t)$ не будет прямой.

Зная зависимость истинной теплоемкости от температуры, нетрудно определить среднюю теплоемкость в данном интервале температур:

$$c = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c(t) dt}{t_2 - t_1}. \quad (9)$$

3.3. Зависимость теплоемкости от процесса

Количество теплоты, которое необходимо подвести к телу для того, чтобы повысить его температуру, будет различным в зависимости от характера подвода теплоты (процесса). Поэтому, когда мы говорим о теплоемкости, следует принимать во внимание, о каком процессе подвода теплоты к данному веществу идет речь. Иными словами, величина c , фигурирующая в соотношении (7), зависит не только от интервала температур, но и от вида процесса подвода теплоты. И теплоемкость, и количество тепла снабжают индексом, характеризующим вид процесса:

$$c_x = \frac{dq_x}{dt}, \quad (10)$$

где символом x обозначен тот параметр, который сохраняется постоянным в данном термодинамическом процессе.

Наиболее часто на практике используются теплоемкости изобарного ($x = p = \text{const}$) и изохорного ($x = v = \text{const}$) процессов; эти теплоемкости называют изобарной и изохорной теплоемкостями и обозначают соответственно c_p и c_v . Тогда

$$c_p = \frac{dq_p}{dt} \text{ и } c_v = \frac{dq_v}{dt}. \quad (11)$$

Массовые теплоемкости при постоянном давлении и объеме связаны между собой соотношением, которое называется уравнением Майера:

$$c_p - c_v = R, \quad (12)$$

где R – газовая постоянная. $[R] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Между изобарными и изохорными мольными теплоемкостями существует следующая зависимость:

$$\mu c_p - \mu c_v = \mu R, \quad (13)$$

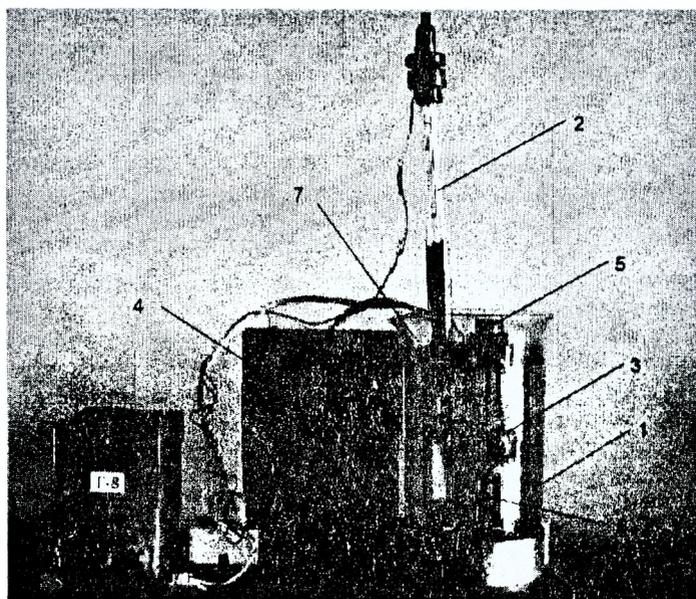
где μR – универсальная газовая постоянная. $[\mu R] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

4. Экспериментальная часть.

4.1. Описание экспериментальной установки

Лабораторная установка состоит из двух блоков: электрического и калориметрического. В калориметрический блок входит калориметр, состоящий из двух стеклянных сосудов (1) (могут быть изготовлены как из кварцевого, так и из органического стекла), термометр (2) и нагреватель (3). Электрический блок состоит из счетчика электрической энергии (4) и электромотора (5). В электрическом блоке вместо электросчетчика могут применяться другие измерительные приборы (вольтметр, амперметр). Крыльчатая мешалка (6) приводится в движение при помощи электромотора. Калориметр закрыт крышкой (7), в отверстиях которой закреплены термометр и нагревательный элемент.

Счетчик электрической энергии дает показания в киловатт-часах, при этом целые и десятые доли указываются на цифровом табло, а сотые и тысячные доли на круговой шкале, которая расположена выше и правее цифрового табло.



1 – калориметр; 2 – термометр; 3 – нагреватель; 4 – счетчик электрической энергии;
5 – электромотор; 6 – крыльчатая мешалка; 7 – крышка калориметра

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

4.2. Косвенный метод определения теплоемкости жидкости

При пропускании электрического тока через нагревательный элемент в нем выделится определенное количество теплоты. Энергия, выделяемая спиралью нагревателя, может быть найдена по формуле:

$$Q = \frac{U^2}{R} t, \quad (14)$$

где U – напряжение на нагревателе, R – сопротивление нагревателя, t – время прохождения тока.

Если потерями тепла во внешнюю среду пренебречь, то энергия, которая затрачивается на нагревание жидкости и тел, находящихся в калориметре, может быть записана в следующем виде:

$$Q = c \cdot (m + m_s) \cdot (T_2 - T_1), \quad (15)$$

где c – удельная теплоемкость нагреваемой жидкости, m – масса нагреваемой жидкости, T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры в калориметре, m_s – жидкостный эквивалент калориметра.

Жидкостный эквивалент калориметра – это масса m_s жидкости, которую дополнительно можно было бы нагреть тем количеством теплоты, которое пошло на нагревание калориметра с погруженными в него телами.

Из формулы (15) получим выражение для определения удельной теплоемкости жидкости:

$$c = \frac{Q}{(m + m_s) \cdot (T_2 - T_1)}. \quad (16)$$

5. Задания для самостоятельной работы.

5.1. Осторожно снимите крышку калориметра и достаньте из него внутренний сосуд.

5.2. Заполните сосуд водой (или другой жидкостью по согласованию с преподавателем). **Внимание!** Для проведения эксперимента необходим определенный объем налитой жидкости, поэтому заполнение сосуда произведите до соответствующей метки. Значение объема налитой жидкости V занесите в таблицу 1.

5.3. Установите заполненный жидкостью сосуд внутрь калориметра, закройте крышку.

5.4. По термометру определите начальную температуру жидкости T_1 . Согласуйте с преподавателем конечную температуру T_2 и установите ее на контактном термометре. Данные T_1 и T_2 занесите в таблицу 1.

5.5. Зафиксируйте начальное показание счетчика электрической энергии Q_1 и занесите его в таблицу 1.

5.6. Включите лабораторную установку в сеть, при этом включатся нагреватель, электромотор и начнется вращение кольца счетчика электрической энергии.

5.7. Когда температура жидкости достигнет конечного значения, прозвучит характерный звуковой сигнал и нагревание прекратится.

5.8. Зафиксируйте конечное показание счетчика электрической энергии Q_2 и занесите его в таблицу 1.

5.9. Повторите измерения (пп.5.1–5.8) 5-6 раз, меняя воду в калориметре. Данные каждого измерения записывайте в отдельную строку таблицы 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные и результаты вычислений

№ опыта	V , мл	Q_1 , кВт·ч	Q_2 , кВт·ч	Q , Дж	T_1 , °С	T_2 , °С	c , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
1							
2							
...							

Примечание. Существует другой способ определения количества теплоты, выделяемой при прохождении тока через нагреватель. Если известно напряжение, при котором работает нагреватель и его сопротивление, то в ходе выполнения п.5.6. одновременно с включением нагревателя в сеть необходимо засечь время t , за которое вода нагреется до заданной конечной температуры T_2 . Тогда количество теплоты Q можно рассчитать по формуле (14). Полученное значение использовать далее в п.6.1., учитывая, что результат представлен сразу в системе СИ. В данной лабораторной установке нагревательный элемент имеет следующие характеристики: $R = 104 \text{ Ом}$; $U = 220 \text{ В}$.

6. Обработка результатов эксперимента. Расчет погрешностей.

6.1. Используя показания счетчика Q_1 и Q_2 , определите количество энергии, пошедшей на нагревание воды по формуле:

$$Q = Q_2 - Q_1. \quad (17)$$

Результат, полученный в кВт·ч, переведите в систему СИ. Итог вычислений занесите в таблицу 1. Учтите, что $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

6.2. Переведите в систему СИ объем налитой воды, зная, что $1 \text{ мл} = 10^{-6} \text{ м}^3$. Рассчитайте массу нагреваемой воды, плотность которой $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, по формуле:

$$m = \rho \cdot V. \quad (18)$$

6.3. По формуле (16) рассчитайте удельную теплоемкость воды, уточнив у преподавателя значение жидкостного (водяного) эквивалента калориметра m_3 . Расчеты сделайте для каждого проведенного опыта. Результаты занесите в таблицу 1.

6.4. Усредните полученные в п.6.3. значения удельной теплоемкости.

$$\langle c \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}, \quad (19)$$

где n – количество проведенных опытов.

6.5. Рассчитайте погрешности полученных результатов.

6.1. Полная погрешность прямого измерения

Объем и температура воды, электрическая энергия измеряются непосредственно приборами. Следовательно, для этих параметров можно рассчитать погрешности прямых измерений ΔT , ΔV , ΔQ . Виды погрешностей и методика расчетов подробно описаны в лабораторной работе Т-1 по дисциплине «Техническая термодинамика».

Итак, погрешность измерения температуры рассчитывается по формуле:

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta T_{разбр})^2 + (\Delta T_{окр})^2 + (\Delta T_{пр})^2}. \quad (20)$$

Аналогичным образом вычисляется погрешность измерения объема и электрической энергии. Разумеется, для них в формуле (20) нужно использовать обозначения ΔV , ΔQ .

6.2. Погрешности косвенных измерений

Поскольку любое прямое измерение неизбежно имеет определенную погрешность, то и величины, вычисляемые из результатов прямых измерений, также будут иметь некоторую погрешность. В этом случае говорят о погрешности косвенных измерений (вычислений). В данной лабораторной работе можно определить погрешности вычисления массы (m), удельной теплоемкости (c).

В самом общем виде точность вычисления удельной теплоемкости c зависит от погрешности измеренных величин, а также от погрешности констант. Тогда, согласно правилу нахождения погрешностей косвенных измерений:

$$\Delta c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial T} \cdot \Delta T\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial m} \cdot \Delta m\right)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial Q} \cdot \Delta Q\right)^2}, \quad (21)$$

где $\frac{\partial c}{\partial T}$, $\frac{\partial c}{\partial m}$, $\frac{\partial c}{\partial Q}$ – частные производные, взятые от функции, описываемой уравнением (16), по величинам T , m , Q , а ΔT , Δm , ΔQ – их погрешности соответственно.

7. Контрольные вопросы.

1. Дайте определение теплоемкости. Назовите единицы ее измерения.
2. Дайте определение удельной теплоемкости. Назовите единицы ее измерения.
3. Дайте определение мольной теплоемкости. Назовите единицы ее измерения.
4. Дайте определение истинной и средней теплоемкостей.
5. Какая теплоемкость (истинная или средняя) определяется в данной работе? Дайте соответствующие пояснения.
6. Опишите методики определения количества теплоты, выделяемого нагревателем при прохождении тока через него.
7. Запишите формулу, применяемую для расчета количества теплоты, необходимого для нагревания жидкости.
8. Что представляет собой жидкостный эквивалент? От чего он зависит?
9. Что представляет собой уравнение теплового баланса? Соблюдается ли баланс тепла в данной работе? Поясните свой ответ.
10. Опишите методики расчета погрешностей прямых и косвенных измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Калорические и термические свойства воды

Вследствие того, что до сих пор не создана удовлетворительная статистическая теория жидкости, какие-либо теоретические оценки величин c_p и c_v для жидкости не могут быть сделаны даже приближенно. Поэтому значения теплоемкости жидкости определяют или экспериментально, или расчетным путем с помощью термодинамических соотношений по значениям других калорических или термических свойств – энтальпии, p , v , T -зависимости и т.д.

Теплоемкость жидкости мало изменяется с изменением давления. В таблице 2 представлена зависимость теплоемкости c_p воды от давления при температуре 20 °С. Как видно из этой таблицы, при увеличении давления от 0,1 до 100 МПа теплоемкость изменяется всего на 5 %.

Таблица 2 – Зависимость теплоемкости c_p воды от давления при $t = 20$ °С

p , МПа	c_p , кДж/(кг·К)	p , МПа	c_p , кДж/(кг·К)	p , МПа	c_p , кДж/(кг·К)
0,1	4,183	40	4,074	80	4,007
20	4,128	60	4,040	100	3,973

Для большей части технических расчетов зависимостью теплоемкости от давления можно пренебречь, и только для расчетов, в которых требуется повышенная точность, эту зависимость следует учитывать. Однако и при этом обычно нет необходимости в прямом экспериментальном определении теплоемкости при высоком давлении p_2 , ибо она может быть рассчитана по известной теплоемкости c_p при давлении p_1 (обычно атмосферное давление) и той же температуре T с помощью соотношения

$$c_p(p_2, T) = c_p(p_1, T) + \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial c_p}{\partial p} \right)_T dp. \quad (П1)$$

Заменяя производную $(\partial c_p / \partial p)_T$ ее значением из уравнения

$$\left(\frac{\partial c_p}{\partial p} \right)_T = -T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p, \quad (П2)$$

получаем:

$$c_p(p_2, T) = c_p(p_1, T) - T \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p dp. \quad (П3)$$

Производная $(\partial^2 v / \partial T^2)_p$ в интервале давлений от p_1 до p_2 вычисляется или непосредственно из экспериментальных данных по зависимости удельного объема жидкости от температуры и давления (экспериментальное измерение удельных объемов является значительно более простой и точной операцией, чем измерение теплоемкостей), или по уравнению состояния жидкости. Вычисление интеграла, стоящего в правой части уравнения (П3), по известным значениям $(\partial^2 v / \partial T^2)_p$ проводится графическими или численными методами. Хотя сама по себе операция двойного дифференцирования численными методами не особенно точна, тем не менее, из-за малости изменения теплоемкости с давлением это не сказывается на точности получаемого в результате расчета значения c_p при высоком давлении.

Теплоемкость c_v при давлении p_2 и температуре T (удельный объем жидкости при этих параметрах обозначим v_2) может быть определена по известной теплоемкости c_v при давлении p_1 и температуре T (удельный объем жидкости при этих параметрах v_1) с помощью соотношения

$$c_v(v_2, T) = c_v(v_1, T) + \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T dv, \quad (П4)$$

в котором производную $(\partial c_v / \partial v)_T$ можно заменить согласно уравнению

$$\left(\frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T = T \left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v. \quad (П5)$$

Получаем

$$c_v(v_2, T) = c_v(v_1, T) + T \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v dv, \quad (П6)$$

производная $(\partial^2 p / \partial T^2)_v$ определяется из экспериментальных данных p , v , T -зависимости вещества или из уравнения состояния жидкости.

Теплоемкость c_p может и возрастать, и убывать с ростом температуры в зависимости от параметров состояния. При этом понижение c_p при возрастании температуры обычно сменяется ростом c_p при дальнейшем повышении температуры. В качестве иллюстрации на рисунке 2 приведен график зависимости теплоемкости c_p воды от температуры при различных давлениях.

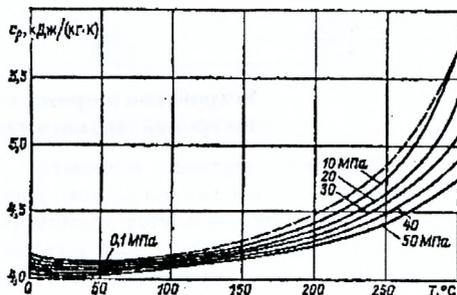


Рисунок 2 – Зависимости теплоемкости c_p воды от температуры при различных давлениях

Как видно из этого графика, теплоемкость c_p воды имеет минимум при температуре около 20 °С. Из графика видно также, что с приближением к линии насыщения (значения c_p на изобарах в точках их пересечения с линией насыщения соединены пунктирной линией) теплоемкость c_p заметно возрастает.

Разница между теплоемкостями c_p и c_v для жидкостей обычно невелика; это видно, например, из таблицы 3, в которой приведены значения теплоемкостей c_p и c_v воды при атмосферном давлении.

Поскольку экспериментальное определение теплоемкости c_v является значительно более сложной задачей, чем определение теплоемкости c_p , а разница $c_p - c_v$ для жидкостей невелика, в большинстве случаев целесообразно опреде-

лять теплоемкость c_v жидкости расчетным путем по известным значениям теплоемкости c_p , используя для этой цели уравнения (П7), (П8) или (П9)

$$c_p - c_v = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p, \quad (\text{П7})$$

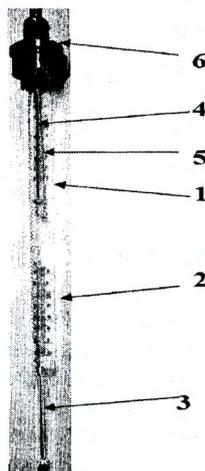
$$c_p - c_v = -T \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v^2, \quad (\text{П8})$$

$$c_p - c_v = -T \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p^2. \quad (\text{П9})$$

Значения фигурирующих в этих уравнениях производных термических величин вычисляются из экспериментальных данных по p , v , T -зависимости жидкости или по уравнению состояния жидкости [2].

Таблица 3 – Теплоемкости воды c_p и c_v при атмосферном давлении

$t, ^\circ\text{C}$	$c_p, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$c_v, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	$c_p - c_v, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
0	4,220	4,220	~0
10	4,191	4,187	0,004
20	4,183	4,153	0,030
30	4,178	4,120	0,058
40	4,178	4,078	0,100
50	4,183	4,032	0,151
60	4,183	3,982	0,201
70	4,191	3,931	0,260
80	4,195	3,877	0,318
90	4,204	3,823	0,381
100	4,216	3,768	0,448



Устройство и принцип работы электроконтактного термометра

Электроконтактный термометр имеет две шкалы: верхнюю (1) и нижнюю (2) (см. рисунок 3). Вдоль нижней шкалы перемещается столбик ртути (3), с которым связан неподвижный электрический контакт. Вдоль верхней шкалы расположен винт (4), по которому перемещается овальная гайка (5), соединенная с подвижным электрическим контактом. Настройка термометра на требуемую температуру производится с помощью магнитного приспособления (6).

Вращая магнитное приспособление в ту или другую сторону подводят нижний край овальной гайки к отметке необходимой температуры (таким образом задают температуру контактирования). Текущую температуру определяют по нижней шкале, следя за поднятием или опусканием столбика ртути.

Рисунок 3 – Схема термометра стеклянного ртутного электроконтактного

От магнитного приспособления отведены два провода, которые замыкаются на электрическое реле. В тот момент, когда температура на нижней шкале достигает значения, заданного на верхней, реле срабатывает.

Список литературы

1. Техническая термодинамика: учебн. в 2-х ч., Ч. 1 / Б.М. Хрусталеv, А.П. Нененчук, В.Н. Романюк и др. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 474 с.
2. Техническая термодинамика: учебник для вузов / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983 – 416 с., ил.
3. Общая физика. Практикум: учебное пособие / В.А. Бондарь [и др.]; под общ. ред. проф. В.А. Яковенко. – Мн.: Вышэйшая школа, 2008 – 572 с.: ил.
4. Техническая термодинамика. Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Под ред. В.И. Крутова. – М.: Высшая школа, 1991.
5. Юдаев, Б.Н. Техническая термодинамика. Учебное пособие для неэнергетических специальностей втузов. – М.: Высшая школа, 1988.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Тарасюк Николай Петрович
Гладышук Анатолий Антонович
Кушнер Татьяна Леонидовна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе Т-8

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ
ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТИ»**

по дисциплине

«Техническая термодинамика»

для студентов специальности 1 - 70 04 02

«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»
дневной формы обучения

Ответственный за выпуск: Тарасюк Н.П.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати .22.07.2013 г. Формат 60×84 ¹/₁₆. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 0,93. Уч. изд. л. 1,0. Заказ № 785. Тираж **40** экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.