

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

В. Г. Якимченко

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу для студентов
специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические
системы и сети» дневной формы обучения**

Гомель 2010

УДК 620.9(075.8)
ББК 31я73
Я45

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 09.02.2010 г.)*

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доц. каф. «Физика» ГГТУ им. П. О. Сухого
А. И. Кравченко

Якимченко, В. Г.

Я45 Общая энергетика : лаборатор. практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» днев. формы обучения / В. Г. Якимченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 37 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Лабораторный практикум предназначен для закрепления теоретических навыков по разделам «Техническая термодинамика и теплообмен», «Котельные установки», «Топливо и теория горения», «Нагнетатели». Лабораторные работы включают определение удельной теплоты парообразования, коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи, коэффициента полезного действия энергетических агрегатов.

Для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» дневной формы обучения.

**УДК 620.9(075.8)
ББК 31я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2010

Лабораторная работа № 1

Определение зависимости температуры насыщенного пара от давления, определение удельной теплоты парообразования

Цель работы: изучение процессов парообразования и определение удельной теплоты парообразования воды.

1. Теоретическая часть.

Во многих областях промышленного производства получил большое применение пар различных веществ: воды, аммиака, углекислоты и др. Из них наибольшее распространение получил водяной пар, являющийся рабочим телом в паровых турбинах, паровых машинах, в атомных установках, теплоносителем в различных теплообменниках и т. п.

Процесс превращения вещества из жидкого состояния в газообразное называется парообразованием.

Процесс кипения заключается в том, что если к жидкости подводить теплоту, то при некоторой температуре, зависящей от физических свойств жидкости и давления, наступает процесс парообразования, как на свободной поверхности жидкости, так и внутри ее.

Пар, соприкасающийся с жидкостью и находящийся с ней в термическом равновесии, называется насыщенным. С изменением температуры жидкости равновесие нарушается, вызывая соответствующее изменение плотности и давления насыщенного пара.

Насыщенный пар, в котором отсутствуют взвешенные мельчайшие истицы жидкой фазы, называется сухим насыщенным паром. Состояние сухого насыщенного пара определяется только одним параметром – давлением или удельным объемом, или температурой. Насыщенный пар, в котором содержатся взвешенные высокодисперсные частицы жидкой фазы, равномерно распределенные по всей массе пара, называется влажным насыщенным паром.

Отношение массы сухого насыщенного пара к суммарной массе влажного насыщенного пара (пар + жидкость) обозначается % и называется степенью сухости пара или паросодержанием.

Если сухому насыщенному пару сообщить некоторое количество теплоты при постоянном давлении, то температура его будет возрастать. Пар, получаемый в этом процессе, называется перегретым.

Он по своим физическим свойствам приближается к газу и тем ближе, чем выше степень перегрева.

Состояние водяного пара описывается уравнением состояния реальных газов (уравнением Ван-дер-Ваальса) для 1 кг пара:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v - b) = RT, \quad (1)$$

где b – поправка на объем молекул;

a/v^2 – поправка, учитывающая влияние сил межмолекулярного взаимодействия.

Рассмотрим фазовую pv - диаграмму системы, состоящей из жидкости и пара, представляющей собой график зависимости удельных объемов воды и пара от давления (рис. 1).

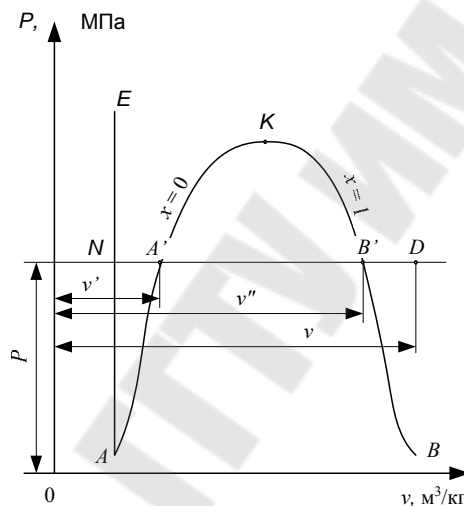


Рис. 1. График зависимости удельных объемов воды и пара от давления

Кривая AE выражает зависимость удельного объема воды от давления при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Так как вода – вещество почти несжимаемое, то кривая AE почти параллельна оси ординат. Если при постоянном давлении сообщить воде теплоту, то ее температура будет повышаться (линия NA') и удельный объем увеличивается. При некоторой температуре t_n вода закипает (точка A'). В случае дальнейшего подвода теплоты при постоянном давлении начинается процесс парообразования. В момент окончания парообразования в точке B' пар будет сухим и насыщенным. Процесс парообразования $A'B'$ является одновременно изобарным и изотермическим.

Кривая AK – нижняя пограничная кривая ($x = 0$) – это геометрическое место точек, отображающих состояние кипящей жидкости при различных давлениях.

Кривая KB – верхняя пограничная кривая ($x = 1$) – это геометрическое место точек, отображающих состояние сухого насыщенного пара при различных давлениях. Обе кривые делят диаграмму на три части. Влево от кривой AK располагается область жидкости. Между кривыми AK и KB располагается двухфазная система, состоящая из смеси воды и сухого пара. Вправо от KB и вверх от точки K располагается область перегретого пара. K – критическая точка. Количество теплоты, затраченное на парообразование 1 кг воды при температуре кипения до сухого насыщенного пари называется удельной теплотой парообразования. Удельная теплота парообразования расходуется на изменение внутренней потенциальной энергии ($u''-u'$) и на внешнюю работу расширения $p \cdot (v''-v')$.

Теплота парообразования, Дж/кг:

$$r = (u''-u') + p \cdot (v''-v') = \rho + \psi, \quad (2)$$

где ρ – внутренняя;

ψ – внешняя теплота парообразования.

В TS -диаграмме произвольный процесс нагрева жидкости, парообразования и перегрева пара при постоянном давлении изображается кривой $AA'B'D$ (рис. 2).

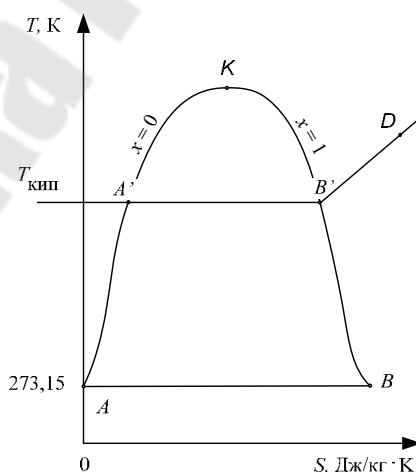


Рис. 2. Кривая $AA'B'D$: AA' – нагрев жидкости до температуры кипения; $A'B'$ – парообразование при температуре кипения; $B'D$ – перегрев пара

2. Схема и описание лабораторной установки.

Для установления зависимости между давлением и температурой используют установку, представленную на рис. 3.

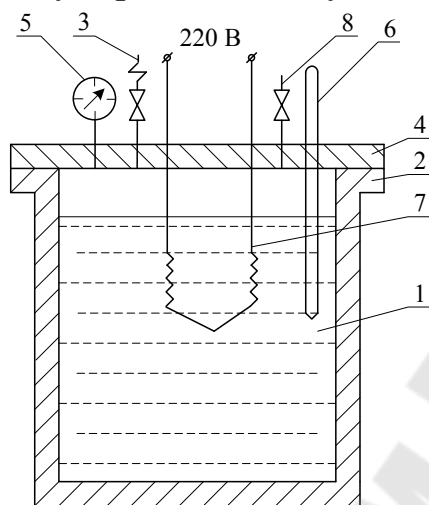


Рис. 3. Схема лабораторной установки:

- 1 – жидкость; 2 – котел; 3 – предохранительный клапан;
- 4 – крышка котла; 5 – манометр;
- 6 – термометр; 7 – электроннагреватель.

Исследуемая жидкость 1 (вода) находится в котле 2, представляющем собой толстостенный металлический сосуд цилиндрической формы. На крышке 4 котла установлен манометр 5 и термометр 6, которые позволяют следить за давлением и температурой в котле. Внутри котла расположен электроннагреватель 7 для нагрева воды. Предохранительный клапан 3 рассчитан на давление $p = 0,25$ МПа. Для заполнения котла водой используется отверстие, закрываемое пробкой 8.

3. Порядок проведения работы.

- 1) Приступая к выполнению работы необходимо ознакомиться с описанием работы.
- 2) Включить установку в сеть, предварительно открыв пробку 8 котла.
- 3) При достижении водой температуры кипения, т. е. при $t = t_n$, когда начинается обильное выделение пара, пробку котла закрыть.
- 4) Следить за изменением давления и температуры по приборам. Снять все показания приборов (манометра и термометра) и занести в таблицу 1. Интервал между замерами – 1 деление по манометру.

- 5) Опыт проводить до давления по манометру не более 0,1 МПа.
 6) По окончании опыта установку выключить из сети и провести опыт в обратном направлении.

4. Обработка результатов измерений.

Таблица 1.

Результаты замеров и расчетов

$P_{\text{изб}}, \text{кг/см}^2$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0
$P_{\text{абс}}, \text{Н/м}^2$											
$T, \text{К}$											
$1/T, \text{К}^{-1}$											

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{изб}}, \text{ Н/м}^2 \quad (3)$$

Для двухфазной системы зависимость между P и T выражается уравнением Клапейрона-Клаузиуса:

$$\frac{dP}{dT} = \frac{r}{T \cdot \Delta v}, \quad (4)$$

где $\Delta v = v'' - v'$ – разность удельных объемов фаз.

Если вторая фаза является идеальным газом, то уравнение 4 можно переписать в виде:

$$d(\ln P) = \frac{r}{R} \cdot d\left(\frac{1}{T}\right), \quad (5)$$

Отсюда:

$$r = \frac{d(\ln P)}{d\left(\frac{1}{T}\right)} \cdot R, \quad (6)$$

Для определения величины $d(\ln P) / d(1/T)$ необходимо построить график $\ln P = f(1/T)$, по которому находят тангенс угла наклона этой зависимости, т.е. $\text{tg}\varphi \approx \frac{\Delta(\ln P)}{\Delta(1/T)}$. Затем по формуле $r = \text{tg}\varphi \cdot R$ определяют удельную теплоту парообразования. Для воды $R = 461,9$ Дж/кг·К

5. Контрольные вопросы:

1. Какой пар называется сухим насыщенным и влажным насыщенным?
2. Что такое сухость пара?
3. Изобразить в $p\nu$ - и TS -диаграммах процесс парообразования.
4. Что такое нижняя и верхняя пограничная кривая?
5. Что называется теплотой парообразования?
6. Уравнение состояния реального газа?
7. Как изменяются температуры при изобарическом подводе теплоты?

Лабораторная работа №2

Теплоотдача горизонтальной оребренной трубы при свободной конвекции

Цель работы: Экспериментальное изучение свободной конвекции горизонтальной оребренной трубы, определение приведенного коэффициента теплообмена и коэффициента эффективности ребер.

1. Схема и описание установки.

Установка предназначена для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи горизонтальной оребренной трубы к окружающему воздуху при нагреве поверхности трубы от 30 до 130°C. Установка должна быть размещена в помещении с достаточно устойчивой температурой окружающего воздуха.

Установка обеспечивает экспериментальное определение в диапазоне температурных напоров (30..120)°C с полной погрешностью не более 0,6 Вт/м·К (доверительная вероятность $p=0,68$) или 7%. При этом в указанном диапазоне изменения температуры среднеквадратическое отклонение опытных данных от расчетных по критериальной зависимости составляет не более 30%.

Максимально допустимая температура поверхности опытной трубы не более 130°C (150 Вт нагрузки на ТЭН).

В качестве рабочего участка используется оребренная стальная труба с коаксиально расположенным внутри трубчатый электронагревателем 10 ТЭН (рис.1).

Параметры оребренной трубы следующие: длина $l = 562$ мм; диаметр трубы $d = 25$ мм; ребра круглой формы; наружный диаметр ребра $D_p = 40$ мм; шаг между ребрами $t_p = 3,65$ мм; толщина ребра $\delta_p = 1,0$ мм; количество ребер на трубе $n_p = 103$ шт.

Потребляемая мощность ТЭН регулируется лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) (3) и измеряется ваттметром Д5067 класса 0,5 (5).

Температура наружной стенки трубы и ребер измеряется с помощью восьми хромель-алюмелевых термопар стандартной градуировки с чувствительностью 41 мкВ/К и предельной допустимой погрешностью не более $0,16$ мВ по ГОСТ 3044-74), Термопары $0,5$ мм изолированы кремнеземной нитью. Горячие спаи термопар зачеканены в тело трубы и ребер в соответствии с требованиями теплофизических измерений.

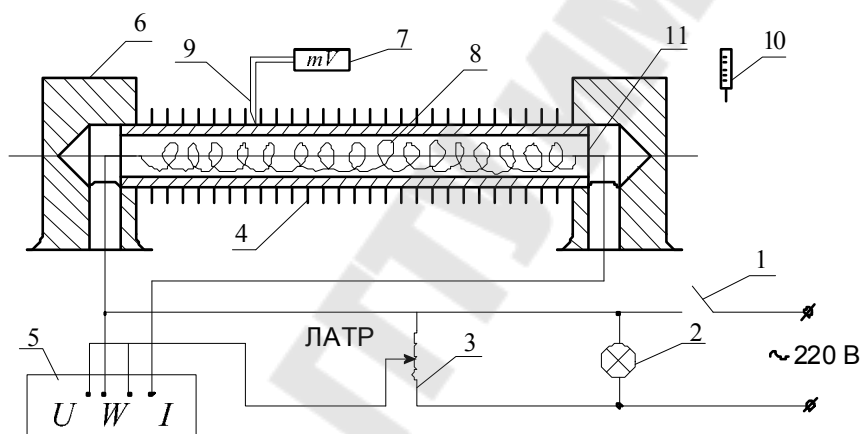


Рис. 1. Схема установки:

1 – выключатель; 2 – сигнальная лампа; 3 – ЛАТР; 4 – оребренная труба; 5 – ваттметр; 6 – стойка; 7 – многоканальный цифровой измеритель температуры; 8 – спираль электронагревателя; 9 – горячие спаи термопар ($T_1 \dots T_9$); 10 – термометр; 11 – ТЭН.

Термо э.д.с. измеряется милливольтметром А565 класса 0,1 с цифровой индикацией температуры и с внутренней компенсацией термо э.д.с. свободных концов термопар.

Температура окружающей среды измеряется отдельно установленной термопарой показания которой выведены на прибор Д565 и контролируется жидкостным термометром (10).

2. Порядок проведения работы.

2.1 Включить тумблер питания установки (I). При этом загорается сигнальная лампочка,(2) и табло цифровой индикации милливольтметра (7).

2.2. С помощью ЛАТР (3) и ваттметра (5) выставляется начальное значение мощности ТЭН (II). В течение некоторого интервала времени осуществляется выход установки на тепловой режим. Наступление установившегося теплового режима определяется по неизменным показаниям всех термопар (7).

2.3. С интервалом 2÷3 мин. проводится серия измерений мощности ТЭН, температур стенки и ребер а также температуры окружающего воздуха.

2.4. Установка переводится на новый тепловой режим увеличением или уменьшением электрической нагрузки на ТЭН. Регистрируется наступление установившегося режима и измерения повторяются.

2.5. Выключение установки производится в обратном порядке. Во время опытов следует избегать резких движений около трубы.

2.6. Результаты опытов заносят в табл.1.

Таблица 1.

Экспериментальные данные по теплоотдаче оребренной трубы

№ опыта	Время выхода на режим, мин. ф	Мощность эл. нагревателя W , Вт	Показания термопар, °С								Температура воздуха, °С t_{cp}
			Ребра				Гладкая стенка				
			t_1	t_3	t_5	t_7	t_2	t_4	t_6	t_8	
1											
2											
3											
4											

3. Обработка результатов измерений.

3.1. Тепловой поток, передаваемый горизонтальной ребристой трубой

$$Q_p = W, \quad (1)$$

где W – мощность нагревателя, Вт.

3.2. Средняя температура стенки, °С

$$t_c = (\sum_1^4 t_{c_i}) / 4, \quad (2)$$

где t_{c_i} – значение температуры каждой из 4 термопар, установленных на гладкой стенке, не занятой ребрами.

3.3. Средняя температура ребер, °С

$$t_p = (\sum_1^4 t_{p_i}) / 4, \quad (3)$$

где t_{p_i} – средняя температура каждой из 4 термопар, установленных на ребрах.

3.4. Средняя температура окружающего воздуха, °С

$$t_{cp} = (\sum_1^n t_{cp_i}) / n, \quad (4)$$

где t_{cp_i} – показания термопары №9 (жидкостного термометра).

3.5. Экспериментальное значение эффективности ребер.

$$E_{\text{эксп}} = \frac{t_p - t_{cp}}{t_c - t_{cp}}, \quad (5)$$

3.6. Коэффициенты теплоотдачи ребристой стенки приведенный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{Q_p}{F_{\text{п}}(t_c - t_{cp})}, \quad (6)$$

коэффициент теплоотдачи, отнесенный к поверхности гладкой стенки:

$$\alpha_{\text{гл}} = \frac{Q_p}{F_{\text{гл}}(t_c - t_{cp})}, \quad (7)$$

коэффициент теплоотдачи ребристой стенки:

$$\alpha = \frac{Q_p}{[E(\varphi - 1) + 1]F_{\text{пл}}(t_c - t_{cp})}, \quad (8)$$

где F_p – поверхность ребер, $F_p = 0,173 \text{ м}^2$;

$F_{\text{гл}}$ – поверхность гладкой трубы, не занятая ребрами,

$$F_{\text{гл}} = 0,034 \text{ м}^2;$$

$F_{\text{п}} = F_{\text{р}} + F_{\text{гл}}$ – полная поверхность ребристой трубы;

$$F_{\text{п}} = 0,206 \text{ м}^2;$$

φ – коэффициент оребрения;

$$\varphi = (F_{\text{п}} / F_{\text{гл}}) = 6,06.$$

Результаты расчетов заносят в табл.2.

Таблица 2.

Расчетные данные

№ опыта	$t_c, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_p, \text{ }^\circ\text{C}$	$(t_c - t_{\text{ср}}), \text{ }^\circ\text{C}$	$(t_p - t_{\text{ср}}), \text{ }^\circ\text{C}$	$\alpha_{\text{пр}}, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$\alpha_{\text{гл}}, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$\alpha_{\text{р}}, \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	E
1								
2								
3								
4								

4. Контрольные вопросы.

1. Физическая сущность конвективного теплообмена.
2. Виды конвективного теплообмена.
3. Записать математическое выражение закона Ньютона-Рихмана
4. Объяснить физический смысл коэффициента теплообмена.
5. Общий вид критериальных: уравнений конвективного теплообмена.
6. Физический смысл критериев Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля и Грасгофа.
7. В чем смысл использования оребрения?
8. Расчет коэффициента теплоотдачи ребристой стенки, приведенного коэффициента теплоотдачи, коэффициента эффективности ребер.

Лабораторная работа № 3

Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов методом цилиндров

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента теплопроводности методом цилиндров, определение зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

1. Теоретическая часть.

Теплопроводность представляет собой процесс распространения энергии между частицами тела (между телами), находящимися друг с другом в прикосновении и имеющими различные температуры.

В общем случае процесс передачи теплоты теплопроводностью в твердом теле сопровождается изменением температуры, как в пространстве, так и во времени:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

где x, y, z – координаты точки;

τ – время.

Эта функция определяет температурное поле в рассматриваемом теле.

В математической физике температурным полем называется совокупность значений температуры в данный момент времени для всех точек изучаемого пространства, в котором протекает процесс.

Если температура тела есть функция координат и времени, то температурное поле называют нестационарным:

$$t = f(x, y, z, \tau); \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} \neq 0, \quad (2)$$

Такое поле отвечает неустановившемуся тепловому режиму теплопроводности.

Если температура тела есть функция только координат и не изменяется с течением времени, то температурное поле тела называется стационарным:

$$t = f(x, y, z, \tau); \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0, \quad (3)$$

Если соединить точки тела с одинаковой температурой, то получим поверхность равных температур, называемую изотермической. Изотермические поверхности между собой не пересекаются. Они либо замыкаются на себе, либо кончатся на границе тела. Наибольшая разность температур на единицу длины будет в направлении нормали к изотермической поверхности.

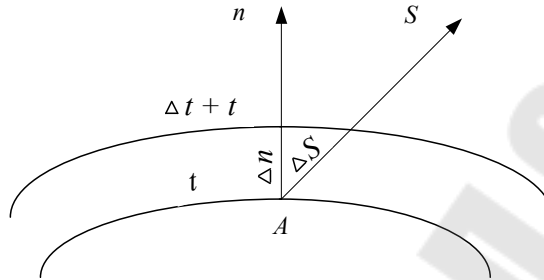


Рис. 1

Предел отношения изменения температуры Δt к расстоянию между изотермами Δn , когда $\Delta n \rightarrow 0$, называют градиентом температуры:

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta t}{\Delta n} \right| = \frac{dt}{dn}, \quad (4)$$

Градиент температуры есть вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры (положительное направление).

Связь между количеством теплоты dQ , Дж, проходящим через элементарную площадку dF , расположенную на изотермической поверхности, за промежуток времени $d\tau$, и градиентом температуры устанавливается гипотезой Фурье, согласно которой:

$$dQ = -\lambda \cdot dF \cdot d\tau \cdot \text{grad } t = -\lambda \cdot dF \cdot d\tau \cdot \frac{dt}{dn}, \quad (5)$$

Минус в правой части показывает, что в направлении теплового потока температура убывает и $\text{grad } t$ является величиной отрицательной.

Множитель пропорциональности λ называется коэффициентом теплопроводности. Уравнение (5) носит название основного уравнения теплопроводности или закона Фурье.

Плотность теплового потока q , Вт/м²,

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dn}, \quad (6)$$

Единица измерения коэффициента теплопроводности – $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$

Числовое значение коэффициента теплопроводности определяет количество теплоты, проходящее через единицу изотермической поверхности в единицу времени, при условии, что градиент температуры равен единице.

Теплопроводность зависит от температуры и давления и для большинства веществ определяется опытным путем. Лучшими проводниками теплоты являются металлы $\left(\lambda = 3 \div 458 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}} \right)$. Теплопроводность теплоизоляционных и строительных материалов изменяется в пределах от 0,02 до 3,0 $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$, и зависит, кроме того, от пористости, влажности и объемной плотности.

Материалы, имеющие особенно низкий коэффициент теплопроводности используются в качестве тепловой изоляции.

Тепловой поток, передаваемый через цилиндрическую стенку, направлен по радиусу от центра к периферии и равен:

$$Q = -\lambda \cdot 2\pi \cdot r \cdot l \cdot \frac{dt}{dr}, \text{ Вт} \quad (7)$$

Изменение температуры будет:

$$\int_{t_{\text{н}}}^{t_{\text{вн}}} dt = \frac{Q}{2\pi \cdot \lambda \cdot l} \int_{r_{\text{вн}}}^{r_{\text{н}}} \frac{dr}{r};$$
$$t_{\text{вн}} - t_{\text{н}} = \frac{Q}{2\pi \cdot \lambda \cdot l} \cdot \ln \frac{r_{\text{н}}}{r_{\text{вн}}}, \quad (8)$$

где $r_{\text{н}}$ – радиус поверхности, м;

$r_{\text{вн}}$ – радиус внутренней поверхности, м;

l – длина цилиндра, м.

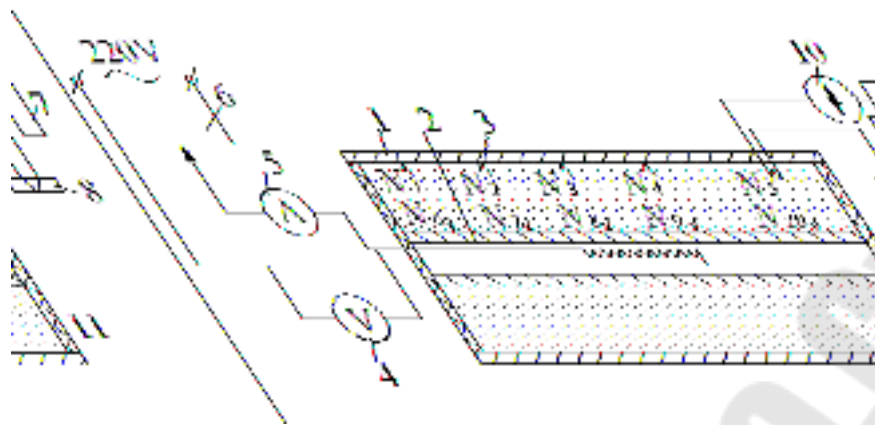


Рис. 2. Схема установки:

1,2 – цилиндры; 3 – электронагреватель; 4 – вольтметр; 5 – амперметр; 6 – регулятор напряжения; 7 – термопары; 8 – холодный спай; 9 – потенциометр; 10 – переключатель; 11 – крышка.

2. Схема и описание лабораторной установки.

Цилиндры 1 и 2 изготовлены из металла. Внутри цилиндра 1 размещен электронагреватель 3, потребляемая мощность которого определяется с помощью вольтметра 4 и амперметра 5. Изменение подводимой мощности производится регулятором напряжения 6. Для уменьшения теплопотерь торцы цилиндров закрыты теплоизоляционными заглушками 11. Температура внутренней и наружной поверхности измеряется термопарами 7. При плотной засыпке исследуемого сыпучего материала (песок) можно считать, что температура слоя, непосредственно прилегающего к поверхности металлической стенки, равна температуре этой стенки. Термо-ЭДС термопар изменяется потенциометром 9, к которому термопары подключаются поочередно через переключатель 10.

3. Порядок проведения работы и обработки результатов.

1. Включить электронагреватель и прогреть установку в течение 15 мин.

2. Снять все показания приборов (амперметра, вольтметра, потенциометра) и занести в таблицу 1.

3. Через 5÷10 мин повторять замеры температуры до получения установившегося (стационарного) режима. Показания потенциометра заносятся в таблицу.

4. После получения стационарного режима изменить силу тока, питающего электронагреватель и произвести измерения, аналогичные в пунктах 2 и 3.

При определении температур следует пользоваться градуировочным графиком, так как потенциометр дает показание температур в мВ.

Таблица 1.

Экспериментальные и расчетные данные

№	Показания термопар, мВ										Средн. темпер., °С		Показания приборов		λ , Вт/м·град
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	$t_{вн}$	$t_{н}$	I , А	U , В	
1															
2															
...															

5. Коэффициент теплопроводности исследуемого материала определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_{н}}{r_{вн}}}{2\pi \cdot l \cdot (t_{вн} - t_{н})}, \quad (9)$$

где Q – тепловой поток, проходящий от внутренней к внешней поверхности слоя, Вт;

$t_{н}$ – температуры внутренней и наружной поверхности слоя, °С.

6. Тепловой поток Q определяется:

$$Q = I \cdot U, \text{ Вт} \quad (10)$$

Построить график зависимости коэффициента теплопроводности от температуры исследуемого материала $\lambda = f(\bar{t})$,

где $\bar{t} = (t_{вн} + t_{н}) / 2$ – средняя температура исследуемого материала.

4. Контрольные вопросы.

1. Что называется теплопроводностью, коэффициентом теплопроводности, градиентом температуры?

2. Определение коэффициента теплопроводности.

3. Определение теплового потока.
4. От каких факторов зависит коэффициент теплопроводности?
5. Основное уравнение теплопроводности.
6. Что такое изотермическая поверхность?
7. Что называется температурным полем? Его математическая запись.
8. Дать определение стационарного и нестационарного температурного поля.

Лабораторная работа № 4

Технический анализ топлива

Цель работы: изучение основных характеристик топлива и экспериментальных методов их определения.

1. Теоретическая часть.

Топливо бывает жидкое, твёрдое и газообразное. К важнейшим характеристикам топлива относится: его состав, теплота сгорания, выход летучих веществ.

Основными элементами твердого и жидкого топлива являются: углерод C , водород H , сера S , кислород O , азот N , минеральные примеси A , влага W . Эти элементы по-разному участвуют в процессе горения, выделяя или поглощая различное количество тепла при его сжигании.

C , H и S составляют горючую массу топлива.

O и N составляют внутренний балласт топлива.

A и W – внешний балласт топлива.

В зависимости от содержания балластных элементов в топливе и общей массы топлива, элементарный состав в справочниках и таблицах обычно приводится в 3-х видах:

1) состав на рабочую массу, когда присутствуют все элементы:

$$C^p + H^p + S^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%, \quad (1)$$

2) на сухую массу:

$$C^c + H^c + S^c + O^c + N^c + A^c = 100\%, \quad (2)$$

3) топливо на горючую массу:

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r = 100\%, \quad (3)$$

Для перевода элементарного состава из одной массы в другую применяются коэффициенты, приведенные в таблице 1.

Наиболее ценной частью топлива является углерод и водород. Влага топлива – вредная балластная составляющая рабочей массы топлива, резко снижает его вязкость. Влага топлива складывается из внешней и гигроскопической (или связанной). Внешняя влага удаляется из топлива при просушивании при температуре $15 \div 20$ °С под любым навесом или крышей. Гигроскопическая влага – это равновесная влага при 100 % относительной влажности окружающего воздуха. Она определяется высушиванием в сушильном шкафу измельченной пробы угля при $102 \div 105$ °С до постоянной массы. Влажность бурых углей $30 \div 40$ %.

Таблица 1.

Коэффициенты перерасчета масс топлива

Масса топлива при исходных данных	Коэффициенты пересчета		
	горючая	сухая	рабочая
горючая	1	$(100 - A^c)/100$	$(100 - A^p - W^p)/100$
сухая	$100/(100 - A^c)$	1	$(100 - W^p)/100$
рабочая	$100/(100 - A^p - W^p)$	$100/(100 - W^p)$	1

Для сравнения различных видов топлива используют понятие приведённой влажности, приходящейся на 1000 кДж низшей теплоты сгорания.

$$W_H^p = 1000 \frac{N^p}{Q_H^p}, \% \quad (4)$$

Зола топлива – балластная примесь, влияющая на качество топлива. Она является смесью различных минеральных веществ, таких, как глинозём, кремний, окислы углерода, известь, щелочи и хлориды. Зольность бурого угля в лабораторных условиях определяется сжиганием топлива в фарфоровом тигле при температуре $800 \div 850$ °С и соответствующем взвешивании. Зола бурых углей лежит в интервале

10÷30 %. Приведенной зольностью называют зольность, приходящуюся на 1000 кДж низшей теплоты сгорания:

$$A_n^p = 1000 \frac{A^p}{Q_n^p}, \% \quad (5)$$

Одной из основных характеристик топлива является теплотворная способность. Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива.

Высшая – общее количество тепла, выделяемое при сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива или 1 м³ газообразного топлива при условии превращения водяных паров выделяемых продуктов сгорания в жидкость.

Низшая – определяется путем вычитания из высшей теплоты сгорания теплоты, пошедшей на процесс парообразования.

Теоретически теплоту сгорания твердого топлива рассчитывают с помощью уравнения Д.И. Менделеева по элементарному составу топлива на рабочую массу с учетом теплоты сгорания отдельных элементов:

$$Q_n^p = 339,5C^p + 1256H^p - 109(O^p - S^p) - 25,8(9H^p + W^p), \text{кДж/кг} \quad (6)$$

Для сравнения тепловой ценности различных видов топлива введено понятие «условное топливо». Оно характеризуется теплотой сгорания равной 29,35 МДж/кг. Для пересчета любого натурального топлива с теплотой сгорания в условное используют коэффициент:

$$\mathcal{E} = \frac{Q_n^p}{29,35}. \quad (7)$$

Важной характеристикой топлива является выход летучих веществ. Чем больше выход летучих, тем ниже температура воспламенения топлива и тем больше объём пламени при прочих равных условиях. Летучие вещества состоят из углеводородов $C_T H_T$ сероводорода H_2S , аммиака NH_3 , азота N_2 , окиси углерода CO , углекислоты CO_2 , влаги H_2O , водорода H_2 . Начало разложения бурых углей происходит при температуре 130÷170 °С, каменных углей при 170÷300 °С. Основной выход летучих продолжается для бурых углей до 500÷550 °С. Полное выделение продуктов разложения заканчивается при 1100 °С. После выделения летучих веществ образуется твёрдый остаток в виде кокса.

2. Описание лабораторной установки.

Для проведения эксперимента используется 2 лабораторных термостата с электрообогревом. Один из них даёт возможность получить стационарные температуры в диапазоне до 180 °С, другой до 900 °С. Для взвешивания проб служат аналитические весы с разновесами. Пробы (до 2 грамм) помещают в фарфоровые стаканчики или в металлический тигелёк.

3. Порядок проведения работы.

1. Включается термостат в сеть и прогревается до необходимой температуры. Регулировка теплового режима производится с помощью переключателя, установленного в нижней части передней панели термостата.

2. Взвешивается фарфоровый стаканчик вначале пустой P_0 , а затем с размещённым углём P_1 . При этом чистый вес угля, помещённого в стаканчик, будет:

$$P_{\text{угля}} = P_1 - P_0. \quad (8)$$

3. Стаканчик с углём помещается в термостат при температуре, соответствующей проводимому эксперименту (тепловой режим зависит от того, что определяется: влажность или выход летучих). После прогрева угля при выбранном режиме в течение 45÷60 мин. стаканчик с углём вынимается специальными щипцами, охлаждается и вновь взвешивается. Пусть теперь вес стаканчика с углём будет P_2 . Уменьшение веса произошло или за счёт испарения, или за счёт выхода летучих веществ. Поэтому их вес определится как

$$P_{\text{экс}} = P_1 - P_2, \quad (9)$$

где $P_{\text{экс}}$ – соответствующий вес влаги ($P_{\text{вл}}$) или вес летучих веществ ($P_{\text{лв}}$).

4. Для определения зольности в термостате при температуре 900÷850 °С сжигается топливо в тигельке. Оставшееся зола взвешивается (P_3).

4. Обработка результатов измерений.

1. Расчёт влажности топлива производится по формуле:

$$W = \frac{P_{\text{вл}}}{P_{\text{угля}}} \cdot 100\% = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где P_2 – вес угля после прогрева при температуре 105 °С.

2. Выход летучих веществ рассчитывается по формуле:

$$\text{Л.В.} = \frac{P_{\text{лв}}}{P_{\text{угля}}} \cdot 100\% = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где P_2 – вес угля после прогрева до 560 °С;

3. Зольность определяется как:

$$A = \frac{P_3}{P_{\text{угля}}} \cdot 100\% = \frac{P_3}{P_1 - P_0} \cdot 100\%. \quad (12)$$

Данные заносим в таблицу 2.

Таблица 2.

$P_{\text{угля}}$	$P_{\text{вл}}$	$P_{\text{лв}}$	P_3	$W, \%$	Л.В., %	$A, \%$

По полученным значениям W , Л.В. и A нужно определить, какой марки может быть уголь, с которым проведен эксперимент.

5. Техника безопасности.

1. Осторожно обращаться с ртутными термометрами. При случайной поломке немедленно сообщите преподавателю.

2. Ставить пробы угля в термостат и вынимать из термостата только с помощью щипцов.

3. По окончании работы выключить термостат из сети.

6. Контрольные вопросы.

1. Что понимают под топливом?

2. Основные элементы и состав топлива.

3. В чем отличие между внутренним и внешним балластом топлива, их влияние на качество топлива?

4. Определение и расчёт низшей и высшей теплоты сгорания.

5. Что характеризуют приведенные влажность и зольность топлива?
6. Что понимают под условным топливом?
7. Что входит в состав летучих веществ топлива?
8. При какой температуре определяется выход летучих веществ твердого топлива?

Лабораторная работа №5

Составление теплового баланса котельной установки.

Цель работы: определение составляющих величин теплового баланса и коэффициента полезного действия котельной установки.

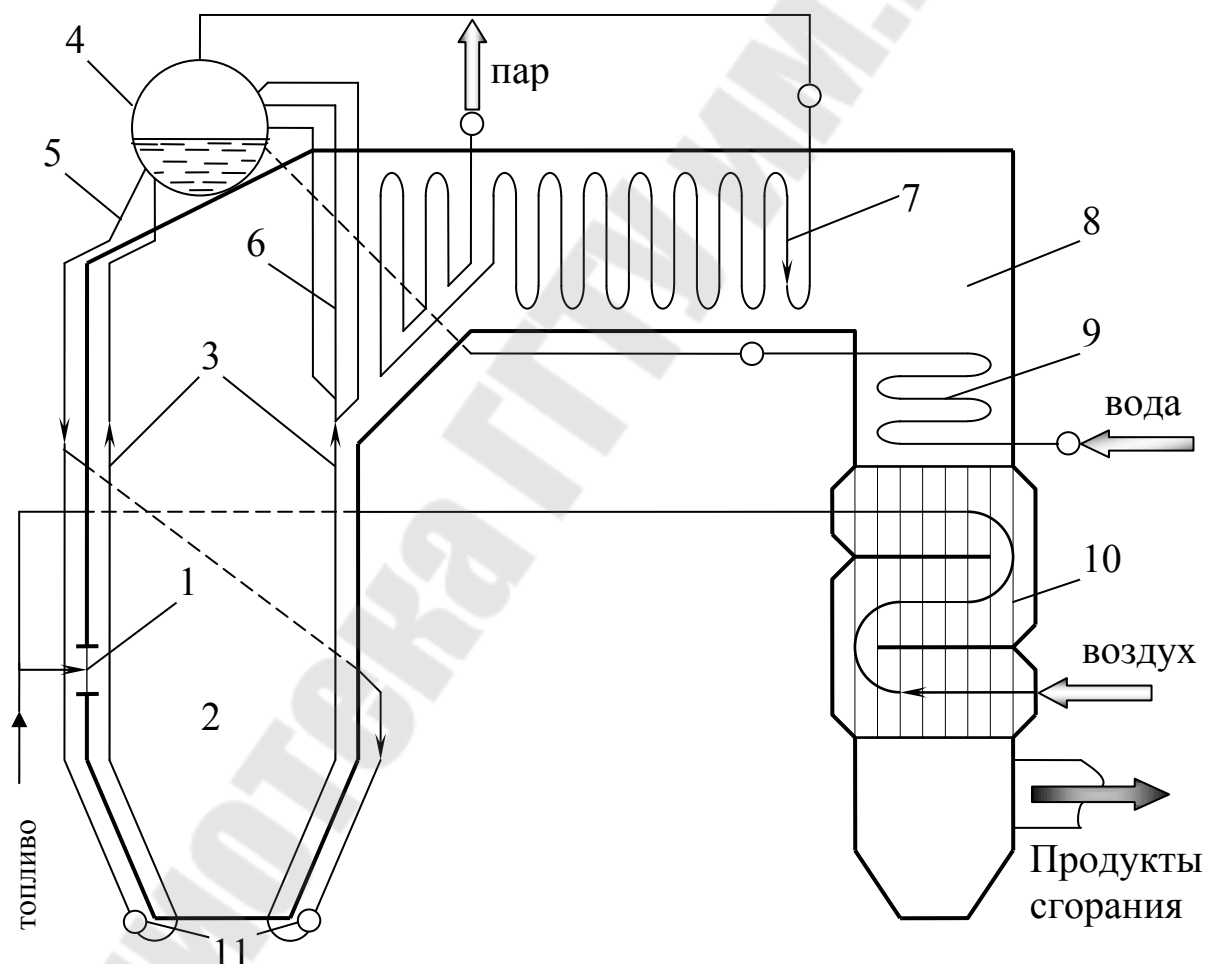


Рис. 1. Схема котельной установки и её краткое описание.

Работа котельной установки осуществляется следующим образом. Топливо вместе с воздухом, подогретым в воздухоподогревателе 10, поступает в топочную камеру 2 через горелку 1. На стенах топоч-

ной камеры расположены экраны 3, состоящие из большого числа вертикальных труб, которые соединены в верхней части с барабаном котла 4, а в нижней части – с коллекторами 11.

Образующиеся в результате процесса горения дымовые газы направляются в газоходы котла, омывая при этом первоначально фестоны 6, расположенные на выходе из топки.

После топочной камеры продукты сгорания проходят через пароперегреватель 7, а затем по опускному газоходу через экономайзер 9 и воздухоподогреватель 10.

Вода питательными насосами подается в экономайзер, затем она подается в верхний барабан котла. Из барабана вода по опускным трубам 5 поступает в коллектора. Из коллекторов вода поступает в экранные трубы 3, образуемая в них пароводяная смесь поступает в барабан котла.

Опускные трубы и коллекторы прокладывают вне топочного пространства. Это создает возможность для осуществления естественной циркуляции воды и пароводяной смеси за счет разности масс столбов воды в опускных и экранных трубах

Принудительную циркуляцию воды в паровом котле можно организовать за счет специального насоса, установленного на опускных трубах.

Принудительная циркуляция воды позволяет увеличить скорость движения и располагать парообразующие трубы в топке любым образом (наклонно, горизонтально), исходя из размещения котла в ограниченных по высоте помещениях и более удобно его конструировать.

2. Тепловой баланс котельной установки.

Целями составления теплового баланса котельного агрегата являются:

- определение значений всех приходных и расходных статей баланса;
- расчет коэффициента полезного действия котельного агрегата;
- анализ расходных статей баланса с целью установления причин ухудшения работы котельного агрегата.

На основе теплового баланса разрабатываются мероприятия по повышению эффективности энергоиспользования в котельной установке.

Тепловой баланс котла, как и любого другого теплотехнического агрегата, характеризует равенство между приходом и расходом теплоты:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}, \text{ кДж/м}^3 \text{ (кДж/кг)} \quad (1)$$

При отсутствии выработки пара за счет теплоты экзотермических реакций можно принять:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{р}}^{\text{р}}, \text{ кДж/м}^3 \text{ (кДж/кг)} \quad (2)$$

где $Q_{\text{р}}^{\text{р}}$ – располагаемое тепло на 1 м³ или 1 кг топлива:

$$Q_{\text{р}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} + Q_{\text{пар}} + Q_{\text{ф.т.}} + Q_{\text{ф.в.}}, \text{ кДж/м}^3 \text{ (кДж/кг)}; \quad (3)$$

или

$$Q_{\text{р}}^{\text{р}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} / K_{\text{Q}}, \text{ кДж/м}^3 \text{ (кДж/кг)}; \quad (4)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/м³ (кДж/кг);

$Q_{\text{пар}}$ – тепло, вносимое в топку паром для распыления жидкого или пылеобразного твердого топлива, кДж/кг;

$Q_{\text{ф.т.}} = c \cdot t$ – физическое тепло 1 м³ или 1 кг топлива;

c – теплоемкость топлива, кДж/(м³·К) или кДж/(кг·К);

t – температура топлива, °С;

$Q_{\text{ф.в.}}$ – физическая теплота воздуха, подогреваемого вне котла за счет постороннего источника, кДж/(м³·К) или кДж/(кг·К);

K_{Q} – коэффициент, учитывающий дополнительное тепло,

вносимое подогретыми вне котла топливом и воздухом:

$$K_{\text{Q}} = \frac{1}{1 + (Q_{\text{ф.т.}} / Q_{\text{н}}^{\text{р}}) + (Q_{\text{ф.в.}} / Q_{\text{н}}^{\text{р}})}, \quad (5)$$

Расходная часть теплового баланса для установившегося режима работы парогенератора определяется по выражению:

$$Q_{\text{р}}^{\text{р}} = Q_{\text{расх}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{ кДж/м}^3 \text{ (кДж/кг)}; \quad (6)$$

где Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6 – потери тепла с уходящими газами, химическим и механическим недожогом топлива, потери от наружного охлаждения и с физическим теплом шлака, кДж/м³;

Q_1 – тепло, израсходованное на процесс парообразования, кДж/м^3
(кДж/кг);

Для газообразного топлива следует принять:

$$Q_4 = 0; \quad Q_6 = 0; \quad Q_\phi = 0.$$

Разделив левую и правую часть общего уравнения теплового баланса (6) на величину Q_p^p , его приводят к виду:

$$1 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6. \quad (7)$$

Величина $q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} = D_{\text{п.п.}}(h_{\text{п.п.}} - h_{\text{п.в.}}) + G_{\text{н.пр.}}(h_{\text{к.в.}} - h_{\text{п.в.}}), \quad (8)$

где $D_{\text{п.п.}}$, $G_{\text{н.пр.}}$ – действительные расходы перегретого пара и продуктовой воды, кг/ч (принимаются из предыдущей работы);

$h_{\text{п.п.}}$, $h_{\text{п.в.}}$, $h_{\text{к.в.}}$ – энтальпии перегретого пара, питательной и котловой воды, кДж/кг .

Потери тепла q_2 можно определить по формуле:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} = \frac{(h_{\text{yx}} - \alpha_{\text{yx}} \cdot h_{\text{yx}}^0)(100 - q_4)}{Q_p^p}, \quad (9)$$

или $q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} = (k \cdot \alpha_{\text{yx}} + c) \cdot (t_{\text{yx}} - \frac{\alpha_{\text{yx}} \cdot t_{\text{x.в.}}}{\alpha_{\text{yx}} + b}) \cdot K_Q \cdot A_t \cdot 10^{-2}, \quad (10)$

где h_{yx} – энтальпия уходящих газов при коэффициенте избытка воздуха α_{yx} и температуре t_{yx} , кДж/кг ;

h_{yx}^0 – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха при температуре $t_{\text{x.в.}}$, кДж/кг ;

k , c , b – коэффициенты, зависящие от вида и качества топлива, для газообразного топлива $k = 3,52$ $c = 0,63$ $b = 0,18$;

A_t – коэффициент, учитывающий влияние t_{yx} на теплоемкость продуктов сгорания:

$$A_t = 0,9805 + 0,00013 \cdot t_{\text{yx}}. \quad (11)$$

Величину потерь от химической q_3 и механической q_4 неполноты сгорания при сжигании газообразного топлива можно принять равными:

$$q_3 = 0,5 \div 1\%; \quad q_4 = 0.$$

Потери q_5 для котлов средней производительности можно принять из табл. 1. в зависимости от паропроизводительности котлоагрегата.

Таблица 1.

Потери тепла в окружающую среду

Паропроизводительность, т/ч	Величина потерь тепла в окружающую среду, %
20	1,83
30	1,67
40	1,30
50	1,10
60	0,95
70	0,80
80	0,70

3. Порядок выполнения и обработки опытных данных.

Расход рабочего тела и топлива, а также температуры питательной воды, перегретого и продувочного пара, уходящих газов и холодного воздуха измеряются по приборам, установленным на щите управления котлоагрегата и заносятся в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты измерений по приборам

Паропроизводительность котлоагрегата, кг/ч	Расход газа по прибору, м ³ /ч	Температуры, °С				
		Перегретого пара	Продувочного воды	Питательной воды	Уходящих газов	Холодного воздуха

Далее определяются отдельные составляющие теплового баланса по уравнениям (7), (8), (9 или 10), входящие в них значения величин по рекомендациям ранее пройденных курсов теплотехники и теории процессов горения топлива.

Неувязка теплового баланса (формула 7) не должна превышать 1%.

Коэффициент полезного действия БРУТТО котлоагрегата определяется соотношением

$$\eta_{\text{к.а.}}^{\text{бр}} = 1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (12)$$

Для современных парогенераторов $\eta_{к.а.}^{бр} = 0,92 \div 0,94$.

Коэффициент полезного действия парогенератора НЕТТО определяется с учетом расхода электроэнергии и тепла на собственные нужды:

$$\eta_{к.а.}^н = \eta_{к.а.}^{бр} - q_{с.н}, \quad (13)$$

где $q_{с.н}$ – суммарный расход энергии на собственные нужды, в долях единицы от величины Q_1 .

4. Контрольные вопросы.

1. Объяснить принцип работы парового котла.
2. В чем отличие естественной циркуляции воды от принудительной?
3. Для чего составляется тепловой баланс?
4. Назвать составляющие теплового баланса котлоагрегата.
5. Как определяются величины $\eta_{к.а.}^{бр}$ и B_g .
6. В чем отличие коэффициентов полезного действия БРУТТО и НЕТТО котельного агрегата?

Лабораторная работа №6

Снятие характеристик центробежного вентилятора

Цель работы: изучение работы центробежного вентилятора на различных режимах и построение его характеристик: $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$.

1. Теоретическая часть.

Характеристиками центробежной машины называют графически изображенные следующие зависимости:

$$H = f(Q), \quad N = f(Q), \quad \eta = f(Q). \quad (1)$$

Если эти зависимости даны при $n = \text{const}$, то они являются характеристиками при постоянной частоте вращения; если же они даны при $n = \text{var}$, то их называют характеристиками при переменной частоте вращения.

Наиболее важной характеристикой является зависимость между напором и подачей (или давлением и подачей).

Воспользовавшись уравнением Эйлера:

$$H_{\text{т\infty}} = \frac{u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}}{g}, \quad (2)$$

и условием, что закручивание потока осуществляется самим рабочим колесом центробежной машины, или, что тоже самое, $\alpha_1=90^\circ$, получим:

$$H_{\text{т\infty}} = \frac{u_2 \cdot c_{2u}}{g}. \quad (3)$$

На рис. 1 показаны параллелограммы скоростей на входе и выходе центробежной машины.

Кроме того, согласно уравнению неразрывности для выходного сечения рабочего колеса расход определяется:

$$Q = \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot c_{2r}. \quad (4)$$

Из плана скоростей следует:

$$c_{2u} = u_2 - c_{2r} \cdot \text{ctg } \beta_2. \quad (5)$$

Радиальная составляющая скорости потока на выходе из (4) будет:

$$c_{2r} = \frac{Q}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2}, \quad (6)$$

где D_2 – внешний диаметр рабочего колеса, м;

b_2 – ширина лопасти рабочего колеса на выходе, м.

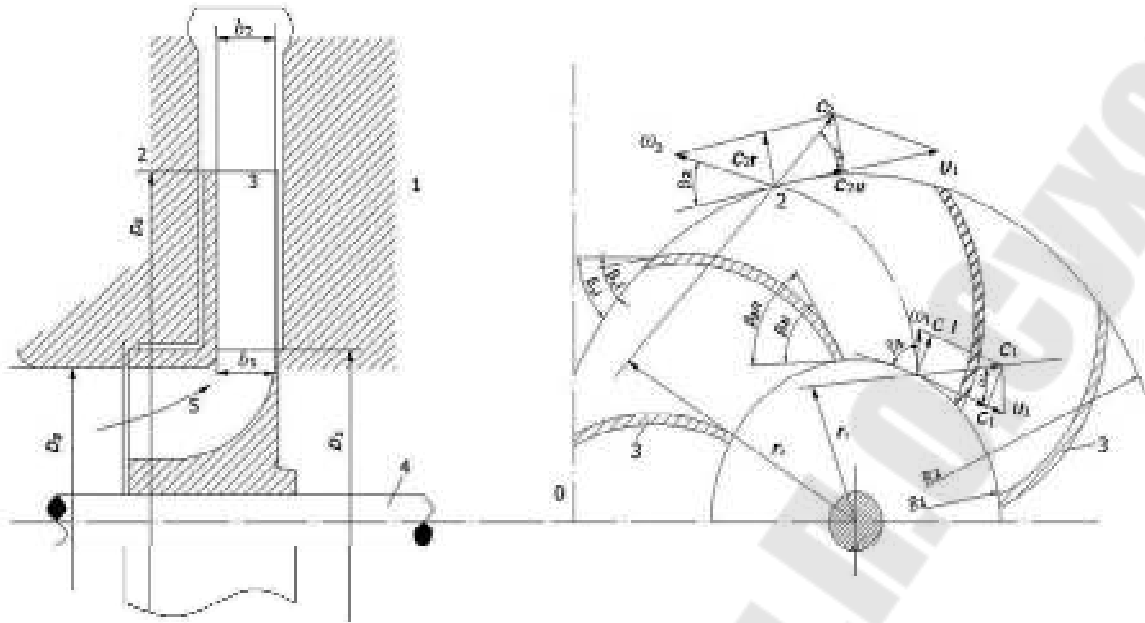


Рис.1. Параллелограммы скоростей центробежной машины
Из (5) и (6) следует, что

$$c_{2u} = u_2 - \frac{ctg\beta_2}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2} \cdot Q. \quad (7)$$

Подставив (7) в уравнение Эйлера, получим:

$$H_{\text{т\infty}} = \frac{u_2}{g} \cdot \left(u_2 - \frac{ctg\beta_2}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2} \cdot Q \right). \quad (8)$$

Выразив окружную скорость u_2 через диаметр рабочего колеса и частоту вращения его вала, получим теоретический напор центробежной машины в виде:

$$H_{\text{т\infty}} = \frac{(\pi \cdot D_2 \cdot n)^2}{3600 \cdot g} - \frac{n \cdot ctg\beta_2}{60 \cdot b_2 \cdot g} \cdot Q. \quad (9)$$

Для центробежной машины с заданными геометрическими размерами при $n = \text{const}$:

$$\frac{(\pi \cdot D_2 \cdot n)^2}{3600 \cdot g} = C = \text{const};$$

$$\frac{n \cdot ctg\beta_2}{60 \cdot b_2 \cdot g} = E = \text{const},$$

следовательно:

$$H_{T\infty} = C - E \cdot Q. \quad (10)$$

Это уравнение прямой линии в координатах $Q-H$ при заданных n , D_2 и b_2 зависит от угла β_2 . Теоретические характеристики центробежных машин при различных углах β_2 представлены на рис. 2.

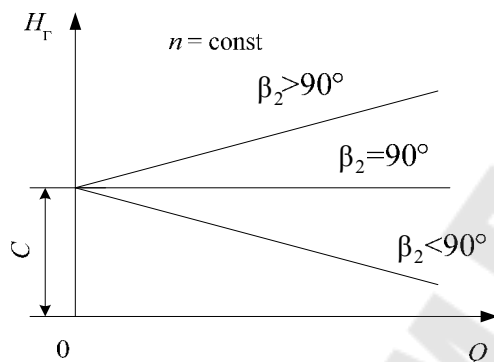


Рис.2. Теоретические характеристики центробежных машин при различных углах β_2

Из рис. 2 видно, что при заданной подаче теоретический напор тем выше, чем больше рабочая лопасть отогнута вперед.

Действительный напор отличается от теоретического, выражаемого уравнением Эйлера, на величину потерь напора в проточной части машины. В результате этого характеристика действительного напора располагается ниже характеристики теоретического напора.

В зависимости от угла β_2 и конструктивных особенностей проточной части центробежной машины действительная характеристика может иметь две основные типичные формы, представленные на рис. 3.

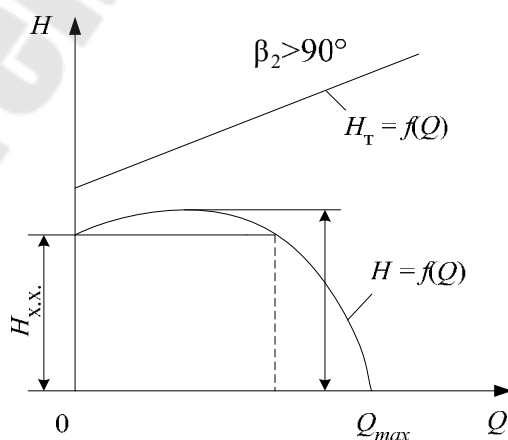


Рис. 3

Характеристика, представленная на рис. 3, обычно получается при $\beta_2 > 40^\circ$ и ее особенностью является наличие максимума и, следовательно, неоднозначность зависимости $H = f(Q)$ для данной машины в пределах от $H_{x.x.}$ до H_{\max} . Машины с характеристикой такого типа могут работать неустойчиво, самопроизвольно изменяя расход. Поэтому такой тип характеристики нежелателен.

Другая форма характеристики, представленная на рис. 4, свойственна центробежным машинам с $\beta_2 < 40^\circ$. Зависимость $H = f(Q)$ однозначна и работа машины может быть устойчивой при любых режимах.

Действительная характеристика мощности машины может быть получена из теоретической характеристики путем вычитания потерь (при данных подачах) из значений теоретической мощности. Теоретическая мощность при $Q = 0$ также равна 0. Действительная же мощность при $Q = 0$ (при закрытой задвижке) равна мощности холостого хода $N_{x.x.}$, затрачиваемой на покрытие потерь в этом режиме (рис. 5).

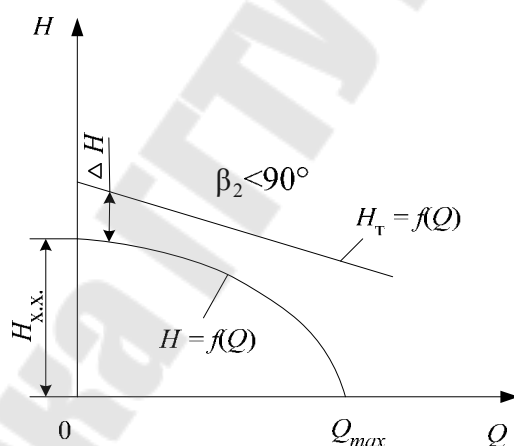


Рис. 4

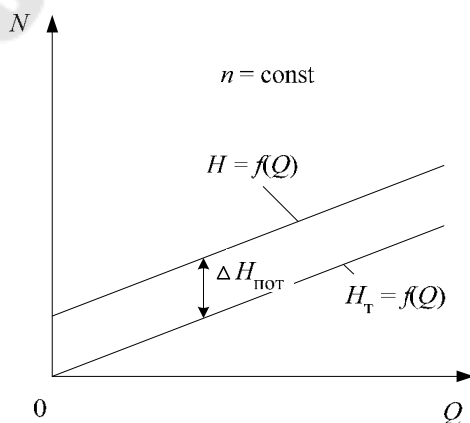


Рис. 5

По характеристикам действительного напора и действительной мощности определяется КПД центробежной машины:

$$\eta = \frac{M \cdot g \cdot H}{1000 \cdot N} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot N}. \quad (11)$$

Очевидно, что КПД равен 0 при $Q = 0$ или $H = 0$, т. к. при всех режимах работы машины $N \neq 0$.

В пределах между $Q = 0$ и $Q = Q_{\max}$ (рис. 6) КПД машины достигает максимального значения.

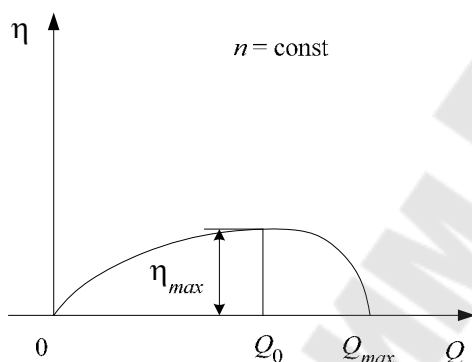


Рис. 6

2. Схема и описание лабораторной установки.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 7. Регулирование производительности осуществляется шибером 3, а напор, создаваемый вентилятором, регистрируется дифманометром 6. По показаниям амперметра и вольтметра определяется мощность, потребляемая вентилятором.

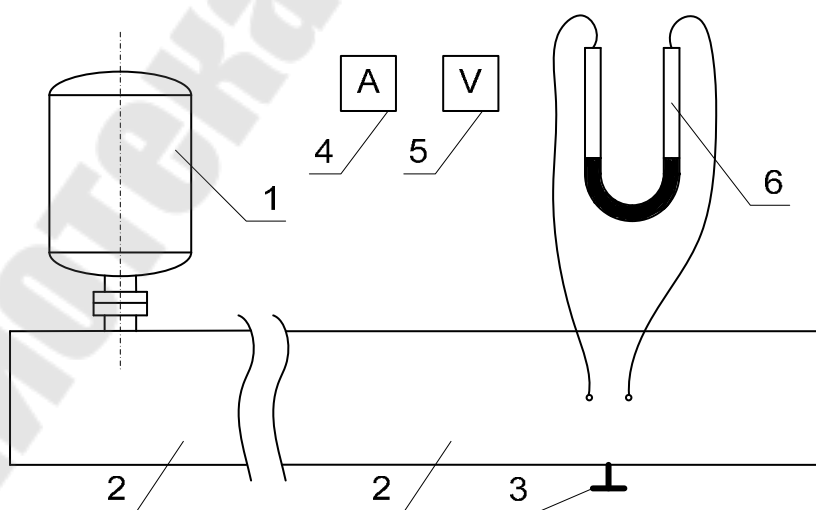


Рис 7. Схема лабораторной установки:

- 1 – центробежный вентилятор; 2 – воздуховод; 3 – шибер;
4 – амперметр; 5 – вольтметр; 6 – дифманометр

3. Порядок проведения работы и обработки результатов.

Включаем центробежный вентилятор в сеть, и при различных положениях шиберы (6 положений) определяем напряжение сети, ток, потребляемый вентилятором и показания дифманометра. Дифманометр показывает напор, создаваемый вентилятором, до шиберы и после шиберы (в точках 1 и 2). Результаты измерений заносятся в таблицу. Положения шиберы задает преподаватель.

1. Напор, создаваемый вентилятором:

$$\Delta H = \Delta h \cdot \frac{\rho_{\text{воды}}}{\rho_{\text{возд}}}$$

2. Скорость воздуха в месте сужения потока:

$$c = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}, \quad \text{м/с}$$

3. Расход воздуха (производительность вентилятора):

$$Q = \rho \cdot c \cdot F,$$

где F – площадь проходного сечения, м^2 .

4. Мощность, затраченная и полезная:

$$N_3 = U \cdot I; \quad N_{\text{пол}} = \sqrt{g \cdot \Delta H \cdot G \cdot I \cdot U}, \quad \text{Вт}$$

5. КПД вентилятора:

$$\eta = \frac{N_{\text{пол}}}{N_3}$$

Все результаты вычислений заносятся в таблицу 1. по полученным данным строятся зависимости

$$\Delta H = f(Q), \quad N_{\text{пол}} = f(Q), \quad N_3 = f(Q), \quad \eta = f(Q)$$

Таблица 1.

№	$F, \text{ м}^2$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$\Delta h, \text{ мм}$	$\Delta H, \text{ м}$	$c, \text{ м/с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$N_3, \text{ Вт}$	$N_{\text{пол}}, \text{ Вт}$	η
1										
2										
3										
4										
5										
6										

4. Контрольные вопросы.

1. Принцип работы центробежных вентиляторов.
2. Какие машины называются вентиляторами?
3. Уравнение баланса энергии для вентилятора.
4. Соотношение между основными параметрами лопастных машин при $n=var$.
5. Что такое полезная и затраченная мощность?
6. Как изображаются графические характеристики лопастных машин?
7. Как рассчитываются производительность и КПД вентилятора?
8. Как определить скорость воздуха на выходе из вентилятора и расход?

Литература.

1. Липов Б.М., Белинский С. Я. Энергетические установки электростанций. М. Энергия, 1974.
2. Теплоэнергетические установки электростанций.- М.: Энергоиздат, 1982
3. Немцев З.Ф. Арсеньев. Теплоэнергетические установки и теплоснабжение. -М.: Энергоиздат, 1982.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети.- М.: Энергоиздат, 1982.
5. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы. Справочник / Под общ. ред. В.А.Григорьева и В.М. Зорина.- М.: Энергия, 1980.
6. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1975.
7. Дж. Твайделл, А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра, 2-е изд.- М.: Энергоатомиздат, 1983.
9. Росс Д. Энергия волн. – Л.: Гидрометеиздат, 1981.
10. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

Содержание

<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Определение зависимости температуры насыщенного пара от давления, определение удельной теплоты парообразования.....	3
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Теплоотдача горизонтальной оребренной трубы при свободной конвекции.....	8
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов методом цилиндров.....	13
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Технический анализ топлива.....	18
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Составление теплового баланса котельной установки.....	23
<i>Лабораторная работа № 6</i>	
Снятие характеристик центробежного нагнетателя.....	28
<i>Литература</i>	36

Якимченко Владислав Геннадьевич

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические
системы и сети» дневной формы обучения**

Подписано в печать 13.10.10.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,94.

Изд. № 28.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.