

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**К. Э. Гаркуша, А. В. Ожелевский**

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по аграрному техническому образованию в качестве  
лабораторного практикума для студентов учреждений  
высшего образования по специальности 1-74 06 05 Энергетическое  
обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), направление  
специальности 1-74 06 05-02 Энергетическое обеспечение  
сельского хозяйства (теплоэнергетика)*

Минск  
БГАТУ  
2018

УДК 696.2(07)  
ББК 38.763я7  
Г20

Рецензенты:  
кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение  
и возобновляемые источники энергии» БНТУ  
(доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий кафедрой *В. Г. Баитовой*);  
директор производственного монтажно-наладочного  
предприятия ЧУП «Спецтехналадка» *А. В. Михадюк*

**Гаркуша, К. Э.**  
Г20 Эксплуатация теплоэнергетического оборудования : лабораторный  
практикум / К. Э. Гаркуша, А. В. Ожелевский. – Минск : БГАТУ,  
2018. – 72 с.  
ISBN 978-985-519-944-2.

Содержит лабораторные работы, в которых представлены краткие теоретические сведения, описание лабораторной установки, методика выполнения работы и обработки результатов измерений, контрольные вопросы.

Предназначен для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), направление специальности 1-74 06 05-02 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (теплоэнергетика).

УДК 696.2(07)  
ББК 38.763я7

ISBN 978-985-519-944-2

© БГАТУ, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа № 1 ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ РАБОТУ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН .....	5
Лабораторная работа № 2 ТЕПЛОВИЗИОННАЯ СЪЕМКА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ .....	17
Лабораторная работа № 3 СОСТАВЛЕНИЕ ПАСПОРТА ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ .....	25
Лабораторная работа № 4 ПУСК И РЕГУЛИРОВКА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	30
Лабораторная работа № 5 ПУСК И РЕГУЛИРОВКА СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ .....	35
Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОССЕЛЬНЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ .....	43
Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АБОНЕНТСКОГО ВВОДА С ЭЛЕВАТОРОМ.....	46
Лабораторная работа № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРФОРИРОВАННОГО ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ.....	50
Лабораторная работа № 9 РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ .....	57
Лабораторная работа № 10 РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ.....	66
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	71

## ВВЕДЕНИЕ

На сельскохозяйственных объектах и производственных предприятиях агропромышленного комплекса устанавливается широкий спектр теплоэнергетического оборудования. Грамотная его эксплуатация с учетом современных технических требований и применения энергосберегающих технологий позволит повысить эффективность работы энергетического оборудования и сэкономить топливно-энергетические ресурсы. Для овладения знаниями в данной области специалист должен иметь представление о методах измерения и регулирования основных параметров, характеризующих работу энергоустановок, режимно-наладочных испытаниях водогрейных и паровых котлов, тепловизионной съемке наружных ограждений.

Цель лабораторного практикума – обеспечить студентов минимальными теоретическими материалами, необходимыми для самостоятельной подготовки к проведению лабораторных работ, их качественного выполнения, оформления отчета и последующей защиты.

По каждой лабораторной работе представлены цель, методические указания к выполнению, схема и описание экспериментальной установки, порядок проведения опытов и обработки полученных данных, контрольные вопросы.

Лабораторные исследования позволяют более глубоко изучить устройство энергооборудования и изменение его рабочих параметров в процессе эксплуатации, научить пользоваться документацией, регламентирующей работу котельных установок, изучить современные инженерные подходы при регулировании параметров систем теплоснабжения. Они развивают компетенции, позволяющие осуществлять диагностирование и мониторинг состояния энергооборудования современными средствами, вести техническую документацию, связанную с наладкой и эксплуатацией энергетических установок.

## Лабораторная работа № 1

### ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ РАБОТУ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН

**Цель работы:** ознакомиться с методами измерения основных параметров, характеризующих работу насосов и вентиляторов, и научиться пользоваться измерительными приборами.

#### Основные сведения

Работа нагнетателей в сети характеризуется следующими основными параметрами: производительностью  $L$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) или подачей  $G$  ( $\text{т}/\text{ч}$ ), давлением  $P$  ( $\text{Па}$ ) или напором  $H$  (метры столба жидкости), частотой вращения (числом оборотов) рабочего колеса  $n$  ( $\text{об}/\text{мин}$ ), мощностью  $N$  ( $\text{Вт}$ ) и коэффициентом полезного действия  $\eta$ .

*Производительность* (характеризует работу вентиляторов) и *подача* (характеризует работу насосов) определяют количество жидкости, подаваемой нагнетателем в сеть за единицу времени. При отсутствии утечки производительность (подача) нагнетателя равна расходу жидкости в сети. Этот факт и используется для измерения  $L$  ( $G$ ) нагнетателей при их испытании.

*Давление* – мера приращения энергии  $1 \text{ м}^3$  жидкости, проходящей через вентилятор. Различают полное, статическое и динамическое давление. Полное давление  $P_{\text{п}}$ , например вентилятора, равно разности полных абсолютных давлений в нагнетательном и всасывающем патрубках. Динамическое давление рассчитывается по средней скорости  $v_{\text{вых}}$  выхода жидкости из нагнетательного патрубка:  $P_{\text{д}} = \rho v_{\text{вых}}^2 / 2$ ; статическое давление  $P_{\text{ст}}$  определяется как разность между полным и динамическим давлением.

Таким образом, для измерения давлений, развиваемых нагнетателем, достаточно знать полное давление во всасывающем и нагнетательном патрубках и среднюю скорость выхода жидкости из нагнетательного патрубка.

*Напор* – мера приращения энергии  $1 \text{ кг}$  жидкости, проходящей через нагнетатель. Связь с давлением определяется зависимостью  $H = P / \rho g$ .

Кроме числа оборотов рабочего колеса  $n$  работу рабочего колеса характеризуют еще угловой  $\omega$  (рад/с) или линейной скоростью его рабочих органов.

*Мощность* характеризует энергетические показатели нагнетательной установки. Полезная мощность определяет затраты энергии на перемещение жидкости во внешних сетях ( $N_{\text{п}} = P_{\text{п}}L / 3600$ ). Существуют потери энергии и внутри нагнетателя ( $\Delta N_{\text{вн}}$ ). Они включают: внутренние гидравлические потери, механическое трение и утечки жидкости через неплотности. Учет потерь энергии внутри электропривода и потерь при передаче вращательного момента к рабочему колесу  $\Delta N_3$  позволяет найти полную электрическую энергию, потребляемую установкой,  $N_3 = N + \Delta N_3$ . Величина  $N_3$  измеряется ваттметром или путем регистрации величины тока и напряжения, подаваемого в цепь электродвигателя. КПД нагнетателя определяется путем балансовых испытаний или расчетом по формуле  $\eta = N_{\text{п}} / N$ .

## Методика выполнения работы

### *Измерение давлений*

Давление жидкости определяется силой, нормально и равномерно действующей на единицу поверхности. Приборы для измерения давления весьма разнообразны. По характеру измеряемой величины их разделяют на:

- барометры – приборы для измерения давления атмосферы;
- манометры, вакуумметры, мановакуумметры – приборы для измерения разности абсолютного избыточного и атмосферного давлений;
- дифференциальные манометры – приборы для измерения разности давлений;
- микроманометры – приборы для измерения малого избыточного давления (или вакуума).

Давление может измеряться в неподвижных и движущихся средах.

Для движущейся среды рассматривают статическое, динамическое и полное давление.

В качестве приемников давления движущегося потока газа применяются пневмометрические трубки: стационарные (рис. 1.1), или отдельные, и переносные (рис. 1.2), или комбинированные.

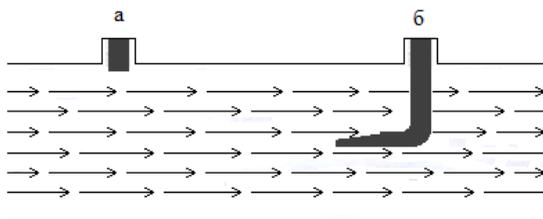


Рис. 1.1. Стационарная пневмометрическая трубка

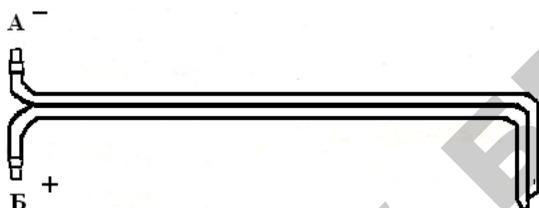


Рис. 1.2. Переносная пневмометрическая трубка

Трубка *a* (см. рис. 1.1), впаянная заподлицо в стенку воздуховода, и трубка *A* (см. рис. 1.2) воспринимают статическое давление потока.

Трубки *б* и *Б*, обращенные открытыми отверстиями навстречу движущемуся потоку, тормозят движущийся поток, превращая кинетическую энергию в потенциальную. Безусловно, эти трубки воспринимают и степень разрежения (сжатия) потока, т. е. трубки *б* и *Б* воспринимают полное давление.

Отверстие трубки полного давления zenкуется, поэтому отклонение ее от оси потока на угол до  $15^\circ$  не приводит к существенным изменениям в результатах измерений. Диаметр трубки не должен превышать 10 % внутреннего диаметра трубопровода. Трубка, воспринимающая полное давление, обозначается обычно знаком «+», а трубка, воспринимающая статическое давление, – знаком «-».

Воспринятое приемниками давление регистрируется с помощью микроманометров. Схема микроманометра представлена на рис. 1.3.

При действии со стороны бабка давления большего, чем со стороны капилляра, жидкость, заполняющая микроманометр, выходит в капилляр и уравнивает имеющуюся разность давлений. Эту разность можно рассчитать по зависимости

$$P_1 - P_2 = \rho_{\text{ж}} \sin \alpha (n_{\text{к}} - n_{\text{н}}) g, \quad (1.1)$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  – объемная масса жидкости, заполняющей микроманометр;  
 $\alpha$  – угол наклона капилляра к горизонту;  
 $n_{\text{н}}$  – положение жидкости в капилляре до начала измерений;  
 $n_{\text{к}}$  – положение жидкости в капилляре после присоединения пневмометрической трубки;  
 $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ).

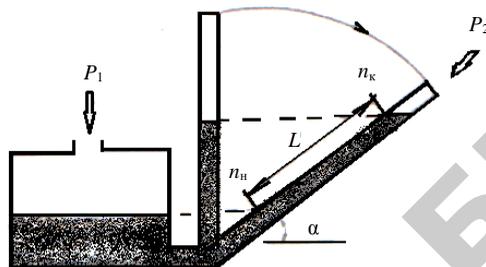


Рис. 1.3. Схема микроманометра

Изменением уровня жидкости в бачке в процессе измерений пренебрегают.

Имеющийся на микроманометре лимб позволяет устанавливать фиксированные значения угла  $\alpha$ . На лимбе для фиксированных точек представлены значения  $\sin\alpha$ , а для микроманометров ММН – значения  $\rho_{\text{ж}}\sin\alpha$ . Последний заполняется только спиртом ( $\rho_{\text{ж}} = 0,8025 \text{ кг/дм}^3$ ).

Произведение  $k = \rho_{\text{ж}}\sin\alpha$  называется коэффициентом манометра.

При выборе способа соединения микроманометра с пневмометрической трубкой, осуществляемого с помощью резиновых шлангов, необходимо исходить из того, что большее из двух сравниваемых давлений должно действовать на уровень жидкости в бачке.

На всасывающей сети для измерения статического и полного давления трубки подключаются к капилляру. Атмосферное давление, большее, чем  $P_{\text{ст}}$  и  $P_{\text{п}}$ , действуя со стороны бачка, вытесняет жидкость в капилляр, где и фиксируется измеряемая величина. На нагнетательной магистрали трубки  $P_{\text{ст}}$  и  $P_{\text{п}}$  подключаются к бачку, т. к. эти давления больше атмосферного, действующего со стороны капилляра.

Динамическое давление есть разность между полным и статическим, т. е.  $P_{\text{д}} = P_{\text{п}} - P_{\text{ст}}$ . При измерении  $P_{\text{д}}$  полное давление,

как большее, подключается к бабку, а статическое – к капилляру. Микроманометрами регистрируются разности давлений до 0,2 атм (при заполнении ртутью).

Большие разности давлений (~1,0 атм) регистрируются с помощью дифференциальных манометров. Принцип действия дифференциальных манометров, как и микроманометров, основан на уравнивании разности давлений столбом жидкости в сообщающихся сосудах.

В последние годы широкое распространение на практике получили электронные дифференциальные манометры Testo, которые относятся к т. н. карманным приборам. Они позволяют ускорить и упростить процесс измерений.

Так, дифференциальные манометры Testo 512 (рис. 1.4) укомплектованы батареей и имеют заводской протокол калибровки. На дисплее прибора одновременно отображаются давление и скорость потока. Данные замеров, также как максимальное и минимальное значения, распечатываются по месту замера с указанием даты и времени. Имеется встроенная компенсация плотности измеряемой среды, осуществляется подсветка дисплея. Данный прибор внесен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь.



Рис. 1.4. Внешний вид прибора Testo 512

Давление может измеряться также с помощью грузопоршневых приборов и тензометрических датчиков.

Приборы для измерения давления вследствие старения конструкционных материалов, появления остаточных деформаций, износа механизмов с течением времени меняют свои показания. По этой причине они должны проходить периодическую поверку и тарировку.

#### *Измерение скорости*

Вследствие аэродинамического (гидродинамического) трения эпюра скоростей по сечению трубопровода неравномерна (рис. 1.5).

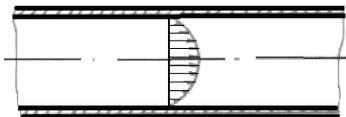


Рис. 1.5. Эпюра скоростей жидкости в трубопроводе

При установке пневмометрической трубки по оси трубопровода может быть изменена осевая скорость  $v_0$ . Средняя по сечению трубопровода скорость может быть найдена по осевой скорости с помощью коэффициента поля скоростей  $a$ :

$$v_{\text{ср}} = av_0. \quad (1.2)$$

Характер изменения коэффициента  $a$  представлен на рис. 1.6.

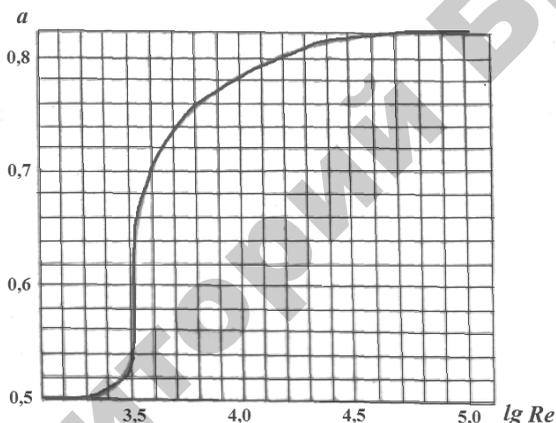


Рис. 1.6. Изменение коэффициента для стабилизированных потоков

Более точное и независимое от характера потока изменение средней скорости может быть получено при измерении скорости в равных сечениях потока с осреднением результатов по зависимости

$$v = \frac{1}{A_{\text{тр}}} \sum_{i=1}^n v_i A_i, \quad (1.3)$$

где  $A_{\text{тр}}$  – площадь трубопровода;

$A_i$  – площадь зоны, в которой наблюдается скорость.

Измерение скорости воздушных потоков осуществляется также анемометрами. Их подразделяют на механические и электрические.

В основу работы механических анемометров положены закономерности взаимодействия лопастных колес различного рода с движущимся потоком. Бывают крыльчатые и чашечные механические анемометры.

Крыльчатые анемометры применяются для измерения скоростей в диапазоне 0,3–5 м/с, чашечные – в диапазоне 1–20 м/с. Они предназначены преимущественно для регистрации скоростей на выходе из воздуховодов больших размеров или на входе в них, а также в свободном пространстве помещений. Механические анемометры имеют счетчик числа оборотов рабочего органа. При измерении его помещают в поток и после раскрутки рабочего органа включают счетный механизм. Через 30–60 с счетный механизм выключают. Скорость определяется по тарировочному графику в соответствии с параметром

$$m = (n_2 - n_1) / \tau, \quad (1.4)$$

где  $n_2$ ,  $n_1$  – начальное и конечное показания счетного механизма;  
 $\tau$  – время работы счетчика числа оборотов.

Работа электрических анемометров (термоанемометров) основана на регистрации параметров охлаждения подогреваемого электрического (проводникового или полупроводникового) термосопротивления, включенного в цепь моста.

Существует однозначная связь между скоростью движения потока  $v$  и показаниями амперметра  $I_v$  термоанемометра. Эта связь устанавливается путем тарировки, проводимой для различных значений температуры омывающего датчик воздуха.

Для измерений параметров воздушной среды в помещениях, замеров в воздуховодах и наладки систем вентиляции применяется широкая линейка анемометров и термоанемометров Testo (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Анемометры Testo:

*a* – Testo 405; *б* – Testo 410; *в* – Testo 416; *z* – Testo 417

Термоанемометр стик-класса с держателем для воздуховода, зажимом и батареей Testo 405 стал одним из первых приборов, который проводит измерения скорости потока воздуха, температуры, а также рассчитывает объемный расход. Прибор имеет стационарно подсоединенную телескопическую рукоятку максимальной длиной до 300 мм. Легкое и быстрое считывание данных с прибора осуществляется благодаря поворотному дисплею. Прибор внесен в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь.

Анемометр Testo 410 измеряет скорость потока и температуру воздуха. Прибор идеально подходит для точечных измерений на выходах воздухопроводов с помощью встроенной крыльчатки диаметром 40 мм. Возможен расчет среднего значения измерений. В дополнение прибор Testo 410-2 измеряет уровень влажности воздуха. В комплект прибора включены также ремень для переноски на запястье, чехол с креплением к ремню и заводской протокол калибровки.

Компактный анемометр Testo 416 со стационарно подсоединенным зондом-крыльчаткой с телескопической рукояткой максимальной длиной до 890 мм позволяет определять также объемный расход, который отображается непосредственно на дисплее. Функция усреднения по времени и количеству замеров позволяет получить усредненное значение объемного расхода. Минимальное и максимальное значения можно также отобразить на дисплее. В приборе предусмотрена функция автоматического отключения.

Компактный анемометр Testo 417 со встроенной крыльчаткой диаметром 100 мм для измерения скорости воздуха и температуры позволяет также определить и объемный расход. Дополнительно на дисплее отображается направление потока (вытяжка или приток). Заложенная в прибор функция усреднения по времени и количеству замеров позволяет получить усредненные значения объемного расхода, скорости потока и температуры. Дополнительный комплект с воронкой обеспечивает эффективные измерения на вентиляционных решетках, круглых потолочных диффузорах и тарельчатых клапанах воздухопроводов.

Другие методы измерения скорости основаны на регистрации движения в потоке ионизированных или радиоактивных частиц, измерении с помощью лазера скорости совместного движения с потоком пылевых добавок, сжатии пьезодатчиков и т. д.

### *Измерение расхода*

Расход жидкости и газа (производительность нагнетателей) регистрируют с помощью прямых и косвенных методов.

При прямом измерении расхода жидкости используются мерные сосуды, газа – некоторые типы газовых счетчиков. При косвенных методах измерения расхода  $L$  регистрируются параметры, зависящие от величины расхода.

Расход жидкости в трубопроводе можно рассчитать (измерить) при известной средней скорости движения потока:

$$L = 3600v_{\text{ср}}A_{\text{тр}}. \quad (1.5)$$

Другим, наиболее распространенным способом измерения расхода является применение сужающих устройств (диафрагмы, сопла, трубы Вентури).

Расчет расхода по значению перепада давления до и после сужающего устройства  $\Delta P = P_1 - P_2$  осуществляется по зависимости

$$L = k\sqrt{\Delta P}, \quad (1.6)$$

где  $k$  – коэффициент, определяемый по результатам тарировки или расчетом по нормам (при применении стандартных сужающих устройств).

Он зависит от физических характеристик движущейся жидкости (температуры, плотности, вязкости), диаметров трубопровода и сужающего устройства, коэффициента тепловой деформации сужающего устройства.

Широкое распространение для измерения расхода получили ротаметры: механические и электрические.

Расходомеры скоростного типа (водомеры) по принципу действия не отличаются от механических анемометров (см. измерение скорости). Имеющийся в них счетчик числа оборотов протарирован для конкретного вида жидкости, и деления шкалы представлены в единицах расхода. Водомеры имеют различные типы вертушек. Анемометры Testo как раз относятся к приборам данного типа.

Вращательное движение рабочего органа водомера или подобных ему устройств может преобразовываться в постоянный или импульсный электрический сигнал.

### *Измерение числа оборотов рабочего колеса нагнетателя*

Число оборотов рабочего колеса насосов и вентиляторов  $n$  измеряется преимущественно с помощью тахометров. Вал тахометра приводится в соприкосновение с вращающимся валом электропривода, и через 3–5 с осуществляется измерение  $n$ .

Измерение частоты вращения рабочих колес осевых вентиляторов при малой мощности привода или недоступности вала ротора возможно с помощью электронных устройств. Вращающееся рабочее колесо определяет импульсное поступление света на фоторезистор (или фотодиод). Пропорционально частоте световых импульсов изменяется и величина тока в цепи микроамперметра. Тарировка этого устройства позволяет осуществить надежное и непрерывное измерение частоты вращения рабочего колеса.

Для измерения частоты вращения рабочих колес или других элементов нагнетательных установок могут применяться стробоскопы. Стробоскопы – источники световых вспышек регулируемой частоты. Условие применения этих приборов – возможность визуального контроля вращающихся элементов.

### **Оценка точности инструментальных замеров**

Точность экспериментальных результатов связана с точностью измерительных приборов. Точность прибора характеризуется классом точности  $K$ , выражающим наибольшую допустимую погрешность измерения  $\Delta_{\max}$ , в процентах от предела измерения  $N$  шкалы:

$$K = \frac{\Delta_{\max}}{N} \cdot 100. \quad (1.7)$$

Значение  $K$  приводится в технической характеристике прибора.

При испытании нагнетателей в учебной лаборатории в пределах ответственного рабочего времени проводятся однократные измерения исследуемой величины. Среднеквадратичная погрешность измерений в этом случае оцениваются по зависимости

$$\sigma = \frac{\Delta_{\max}}{\sqrt{3}}. \quad (1.8)$$

В случае косвенных измерений среднеквадратичная погрешность измерения величины  $u = f(x, y, z)$  выражается по формуле

$$\sigma_u = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \sigma_z\right)^2}. \quad (1.9)$$

Результаты расчетов по формулам (1.7–1.9) позволяют найти область возможных изменений измеряемой величины, определяемой интервалом  $u \pm \sigma_u$ .

В случае многократного измерения, например, параметра  $x$  параметр  $\sigma_x$  находится по выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |x - x_i|^2}{n}}, \quad (1.10)$$

где  $n$  – число измерений;

$x$  – среднее по  $n$  измерениям значение параметра  $x$ .

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о методах измерения производительности (подачи), давления (напора), числа оборотов, мощности и применяемых для этого приборах.
3. Измерение скорости, давления воздуха в воздуховодах и в помещении.
4. Оценка точности инструментальных замеров.
5. Вывод.

### Контрольные вопросы

1. Какими основными параметрами характеризуется работа нагнетателей в сети?
2. Приборы и средства измерения давления движущихся сред.
3. Как измеряется полное, статическое и динамическое давление с помощью микроманометра?

4. Как определяется средняя скорость по сечению трубопровода?
5. Приборы для измерения скорости воздушного потока.
6. Способы определения расхода жидкости и газа.
7. Какими приборами измеряется частота вращения рабочего колеса нагнетателя?
8. Как проводится оценка точности инструментальных замеров?
9. Как определить среднеквадратичную погрешность при прямых и косвенных измерениях?

## Лабораторная работа № 2

### ТЕПЛОВИЗИОННАЯ СЪЕМКА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

**Цель работы:** изучить назначение, устройство и принцип работы тепловизора для определения мест с избыточными тепловыми потерями в наружных ограждающих конструкциях зданий.

#### Основные сведения и описание тепловизора

Область использования прибора:

- *строительная отрасль, эксплуатация зданий и научные исследования:* определение температурных полей;
- *электропитание установок:* тепловая проверка и диагностика условий эксплуатации электрооборудования, включая определение мест перегрева элементов оборудования и контактных групп;
- *транспортировка горючих жидкостей:* диагностика нефте- и газопроводов (определение местных перегревов или зон повышения температуры).

Тепловизор предназначен для бесконтактного измерения температуры и температурных полей с последующей обработкой на ПЭВМ. Общий вид прибора показан на рис. 2.1.

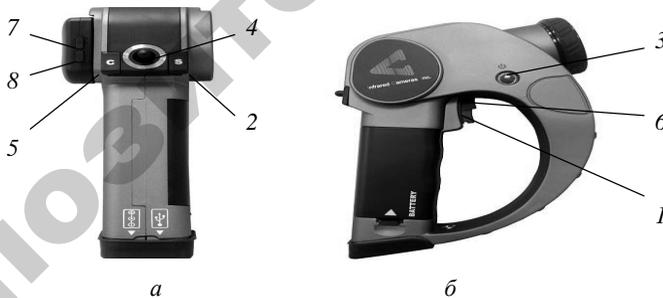


Рис. 2.1. Общий вид прибора сзади (а) и сбоку (б):

- 1 – кнопка «F»; 2 – кнопка «S»; 3 – включение/выключение камеры;  
4 – джойстик; 5 – кнопка «C»; 6 – кнопка «A»; 7, 8 – соответственно кнопки  
увеличения и уменьшения яркости экрана дисплея

Основные функции кнопок прибора и его технические характеристики представлены в табл. 2.1 и 2.2 соответственно.

Таблица 2.1

## Кнопки прибора и их основные функции

Обозначение на рис. 2.1	Кнопка	Комментарии по выполняемым функциям
1	«F»	Включение/выключение лазерного указателя
2	«S»	Краткое нажатие – фиксация изображения и подготовка к сохранению в базу данных; длительное нажатие (более 3 с) – сохранение изображения
3	«ON/OFF»	Включение/выключение прибора (удерживание более 3 с)
4	Джойстик	Нажатие открывает МЕНЮ, дальнейшее управление – движение по пунктам МЕНЮ; повторное нажатие – выполнение выбранной в МЕНЮ функции
5	«C»	Сброс предыдущих действий (отмена)
6	«A»	Кратковременное нажатие – выбор температуры; нажатие более 3 с – автокалибровка прибора
7	Кнопка увеличения яркости	Увеличение яркости экрана поворотного дисплея
8	Кнопка уменьшения яркости	Уменьшение яркости экрана поворотного дисплея

Таблица 2.2

## Технические характеристики прибора

Наименование характеристики	Ед. изм.	Значение
1. Тепловая чувствительность	°С	0,1
2. Разрешающая способность	–	160×120
3. Пиксельный размер	мкм	35×35
4. Минимальное фокусное расстояние	м	0,3
5. Область захвата изображения	°	21,1×15,8
6. Дисплей		2,5" LCD
7. Объем встроенной памяти	снимки	1000

Наименование характеристики	Ед. изм.	Значение
8. Лазер, длина волны	нм	635, красный
9. Диапазон измерения температур	°С	-20...+250
10. Точность определения температуры	°С	±2
11. Рабочий диапазон температур прибора	°С	-15...+50
12. Диапазон температур хранения	°С	-40...+70
13. Влажность окружающего воздуха	%	До 95
14. Интерфейс (разъемы, провода, блоки)		USB, audio, video, external power
15. Напряжение питания	В	10...14
16. Типовое напряжение питания	В	12
17. Аккумулятор		L160 Li-Ion
18. Время работы от аккумулятора	ч	3,0
19. Габаритные размеры	мм	182×250×72
20. Масса без аккумулятора	кг	0,68

Прибор работает от литиевых аккумуляторов L160, которые можно заряжать при помощи блока подзарядки, или от блока питания (в стационарных условиях).

Для передачи данных на ПЭВМ имеются необходимые кабели и специальное программное обеспечение (см. раздел «Работа с компьютером»).

На рис. 2.2 представлен интерфейс прибора.

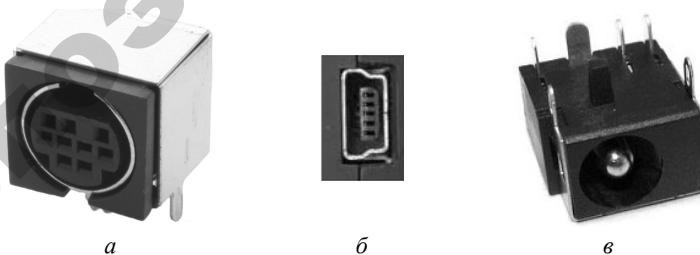


Рис. 2.2. Интерфейс прибора:

- а* – гнездо «Видео/аудио» для передачи соответствующего сигнала (видео/аудио); *б* – гнездо стандартного mini-USB разъема; *в* – гнездо подключения внешнего источника питания прибора (адаптора)

На рис. 2.3 изображена картинка на дисплее прибора.

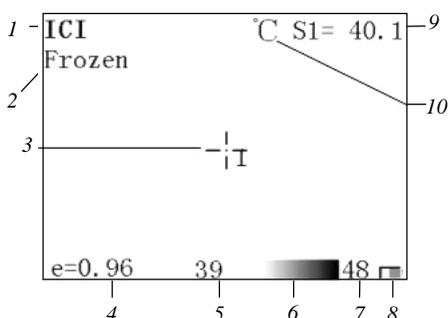


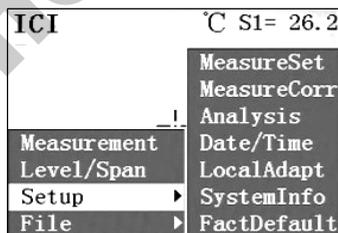
Рис. 2.3. Изображение на дисплее прибора:

1 – логотип прибора (камеры); 2 – рабочий статус прибора (Frozen – статус сохранения картинки); 3 – точка (цель по лазеру), в которой определена температура (поз. 9); 4 – принятый (заложенный в прибор) коэффициент излучения; 5 – нижний предел измерения температуры; 6 – цветная палитра, указывающая масштаб изображения температуры; 7 – верхний предел измерения температуры; 8 – индикатор заряда/разряда аккумулятора; 9 – численное значение средневзвешенной измеренной температуры; 10 – единицы измерения температуры (°C, °F, K)

Чтобы зафиксировать изображение, необходимо кратковременно нажать на кнопку «S». Нажатие и удержание этой кнопки более 3 с позволяет сохранить изображение.

Используя джойстик, можно сохранить изображение в памяти или выйти из указанного режима. Чтобы сохранить полученное изображение, необходимо кратковременно нажать на джойстик.

Для просмотра сохраненного (сохраненных) в памяти прибора изображения необходимо нажать на джойстик, при этом на дисплее появится меню (рис. 2.4). Перемещаясь по нему при помощи джойстика, можно выполнить операцию просмотра изображения.



Измерение (*Measurement*)  
 Уровень/Диапазон (*Level/Span*)  
 Установка (*Setup*)  
 Файл (*File*)

Рис. 2.4. Основные операции режима МЕНЮ

Выйти из режима МЕНЮ можно нажатием на кнопку «С».

В приборе установлены фиксированные и корректируемые параметры.

К фиксированным относятся:

- основной диапазон измерения температуры камерой при гарантированной точности измерения (см. табл. 2.2);
- оптическая линза – стандартная (№ 1809);
- единицы измерения температуры (°C);
- параметр температурной компенсации при измерениях (28,8 °C).

К корректируемым относятся:

- коэффициент излучения измеряемых тел (устанавливается пользователем в диапазоне от 0,01 до 1,0 согласно табл. 2.3) – по умолчанию равен 0,96;
- коэффициент температурной корректировки (обычно устанавливается заводом-изготовителем и равен 0,0 °C);
- расстояние до объекта измерения в диапазоне с гарантированной точностью измерения (до 10 м; принимается равным по умолчанию 5,0 м);
- реальная относительная влажность окружающего воздуха (принимается по умолчанию 60 %).

Таблица 2.3

Коэффициент  $\epsilon$  излучения некоторых материалов

Материал	Статус	Температура, °C	Коэффициент $\epsilon$
Алюминий	неокисленный	100	0,20
	окисленный	100	0,55
Медь	сильно окисленная	20	0,78
Железо	окисленное	100	0,74
	ржавое	25	0,65
Сталь	окисленная	200	0,79
Кирпич	поверхность	20	0,93
Стекло	полированное	20	0,94
Песок (почва)	поверхность	20	0,90
Вода	дистиллированная	20	0,96
Древесина	без коры	20	0,90

В служебных настройках, сделанных на заводе-изготовителе, установлено:

- язык МЕНЮ (английский);
- автоматическая калибровка прибора после включения (через 120 с);
- видеоформат изображений (*PAL*);
- целеуказатель (лазер);
- отключение дисплея по времени (нет);
- отключение прибора по времени (нет);
- прибор серии T2PA0001;
- программная версия, используемая в приборе, – T2-PV.0.104;
- время заводской установки – 13 июля 2006 г.

Три последних пункта пользователь изменить не может ни при каких обстоятельствах.

### Методика выполнения работы

Ознакомьтесь с принципом действия прибора. Перед началом измерений необходимо осмотреть прибор и устранить мелкие неисправности, если они будут выявлены (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Мелкие неисправности и методы их устранения

Неисправность	Причина неисправности и метод ее устранения
Камера не включается (нажатие на кнопку более 3 с)	1. Не установлен аккумулятор или установлен неправильно – установить аккумулятор. 2. Разрядился аккумулятор – зарядить и установить аккумулятор
Быстрый разряд аккумулятора	1. Температура окружающей среды слишком низкая – между измерениями утеплите прибор (поместите в теплое место, например под одежду). 2. Аккумулятор не полностью заряжен – зарядить и установить аккумулятор. 3. Истек срок службы аккумулятора – установить новый аккумулятор

Неисправность	Причина неисправности и метод ее устранения
Нет теплового изображения	1. Не снята крышка объектива камеры – снять защитную крышку. 2. Изображение не изменяется (фиксированно) – осуществить сброс кнопкой «С»
Отсутствует цветное изображения	Выбран режим черно-белого формата – выключить и повторно (через 5 с) включить камеру. Если неисправность не устранена – установить цветной режим, переключив видеосистему с <i>NTSC</i> на <i>PAL</i>

Вставить аккумулятора, для чего открыть крышку аккумуляторного отсека, нажав на ее захват. Поместить аккумулятор в отсек справа, нажать и продвинуть влево (в направлении контактной группы) по отсеку (справа остается свободное место). Закрыть крышку. Удаление аккумулятора осуществляется в обратном порядке.

Включить камеру нажатием на кнопку «*ON/OFF*», удерживая ее более 3 с. Удалить защитную крышку с объектива камеры, нажав на ее боковые защелки. Нажать на кнопку «*A*» и удерживать ее более 3 с для автофокусировки изображения. Направив на объект измерения температуры (температурного поля), получить на экране дисплея изображение, которое постоянно меняется (крестик в центре камеры – своеобразный «прицел»).

Определить термически неоднородные участки ограждающих конструкций по полученному на тепловизоре изображению, записав в таблицу рекомендуемой формы (табл. 2.5) значения температуры наружного воздуха  $t_n$  и измеренных температур  $t_{нп}$ ,  $t_{вп}$  на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, относительную влажность воздуха  $\phi$ , облачность.

Таблица 2.5

## Экспериментальные данные

Температура, °С			Состояние окружающей среды		Материал ограждающей конструкции
$t_n$	$t_{нп}$	$t_{вп}$	$\phi_n$ , %	Облачность	

Сделать выводы и предложить варианты утепления рассматриваемой поверхности (стены, кровли, окна).

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о тепловизоре и тепловизионной съемке.
3. Измерение термически неоднородных участков ограждающих конструкций.
4. Таблица экспериментальных данных.
5. Вывод.

## Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен тепловизор?
2. Перечислите основные элементы прибора.
3. Каков принцип функционирования прибора?
4. Порядок действий при тепловизионной съемке.
5. Каким образом можно устранить мелкие неисправности прибора?
6. Способы утепления наружных стен, кровли, окон.

## Лабораторная работа № 3

### СОСТАВЛЕНИЕ ПАСПОРТА ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

**Цель работы:** изучить состав паспорта вентиляционной установки и научиться производить технические испытания вентиляционной системы в производственных условиях.

#### Основные сведения

Паспортизация вентиляционной установки является обязательной процедурой и проводится при установке системы либо после внесения значительных изменений в ее конструкцию. Она является одним из завершающих этапов комплекса работ, связанных с пусконаладкой систем вентиляции и кондиционирования воздуха, а также противоподымной защиты. На каждую из вентсистем оформляется паспорт. Этот важный технический документ дает право на ввод в эксплуатацию соответствующего вентиляционного оборудования.

Паспорт вентиляционной установки представляет собой документ, который содержит описание системы, ее технические характеристики, показатели эффективности, таблицу фактического расхода воздуха, соответствие установленного оборудования проектным данным и другую важную информацию. Этот документ устанавливает также соответствие систем вентиляции современным строительными нормам, а также правилам противопожарной безопасности.

На любом предприятии должно назначаться лицо, ответственное за ведение этого документа. Основные его обязанности заключаются в своевременном внесении записей о состоянии системы и проводимых испытаниях.

Паспорт вентиляционной установки содержит следующую информацию:

- наименование сертифицированной организации, осуществлявшей паспортизацию;
- местонахождение объекта;
- предназначение системы вентиляции;
- тип и режим работы системы;

- расположение системы;
- информацию о системах автоматики;
- технические характеристики оборудования системы вентиляции;
- показатели потребления электроэнергии и энергосбережения;
- таблицу расходов воздуха по сети и помещениям (один из ключевых разделов, который должен содержать информацию о проектных и фактических показателях расхода);
- аэродинамическая схема.

Паспорт системы вентиляции должен содержать протокол и инструкцию по эксплуатации системы. Дополнительные разделы могут содержать и другую информацию, например:

- результаты аэродинамических испытаний вентилятора (обязательно);
- результаты испытаний герметичности системы;
- показатели уровня вибрации;
- показатели уровня шума;
- протокол избыточного давления в защищаемом помещении (для противодымной вентиляции, при необходимости) и т. д.

Паспорт вентиляционной установки выдается в двух экземплярах, срока действия он не имеет. Срок действия имеется у протокола последнего испытания, обычно он равен году. По прошествии срока действия протокола требуется провести обследование вентиляционной системы, оформить новые протоколы замеров и обновить записи в паспорте системы вентиляции.

Паспорта систем вентиляции разрабатываются на основании технических и гигиенических испытаний на соответствие Санитарным нормам, правилам и гигиеническим нормативам, утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 29 декабря 2012 г. № 215 «Об утверждении Санитарных норм и правил “Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов”».

В процессе разработки паспортов систем вентиляции производятся следующие работы:

- ознакомление с имеющейся технической документацией на вентустановки;
- аэродинамические испытания вентустановок;
- определение производительности, давления и скорости воздуха;
- составление аксонометрических схем вентустановок;

- анализ результатов испытаний вентустановок;
- оформление паспортов и технического отчета по результатам испытаний.

В результате паспортизация вентиляции позволяет зафиксировать реальные показатели работы системы и определить величину их отклонения от нормативных, установленных производителем. Это дает представление об эффективности функционирования вентиляционной установки и позволяет повысить этот показатель за счет устранения проблем, выявленных в работе системы.

### **Методика выполнения работы**

Лабораторная работа выполняется на действующей вытяжной вентиляционной установке. Ее техническое испытание предусматривает:

1. Определение величины расхода воздуха в системе,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , полного давления, развиваемого вентилятором.
2. Снятие характеристик вентиляционного оборудования системы.
3. Сравнение с данными по проекту (если данные имеются).
4. Построение аксонометрической схемы вентиляционной установки.
5. Определение аэродинамических характеристик вентсистемы.
6. Краткий анализ состояния и работы системы.

В результате испытания составляется протокол по нижеприведенной форме.

### ***Протокол технического испытания вентиляционной системы***

1. Наименование организации, проводящей испытание \_\_\_\_\_

2. Дата проведения испытания \_\_\_\_\_

3. Испытание проводили \_\_\_\_\_

4. Предприятие \_\_\_\_\_

5. Адрес \_\_\_\_\_

6. Цех, отделение \_\_\_\_\_

7. Система \_\_\_\_\_

## Результаты испытаний вентиляционной системы

### 1. Технические сведения об оборудовании вентиляционной установки

#### Вентилятор

Данные	Тип и номер	Диаметр всасывающего отверстия, мм	Размер выхлопного отверстия, мм	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Полное давление, кг/м <sup>2</sup>	Скорость вращения, об/мин	Вращение	Положение кожуха	Исполнение
Проект									
Факт									

#### Электродвигатель

Данные	Тип	Мощность, кВт	Скорость вращения, об/мин	Диаметр шкива
Проект				
Факт				

#### Пылегазоулавливающее устройство

Данные	Наименование	№, тип	Число, шт.	Объем воздуха, м <sup>3</sup> /ч		Подсос, %	Сопротивление, кг/м <sup>2</sup>
				до устранения	после		
Проект							
Факт							

Так как испытания проводятся на вытяжной установке, то технические данные по воздухонагревателям и увлажнителям воздуха в протокол не включаются.

После заполнения таблиц испытаний строится аксонометрическая схема и определяется ее аэродинамическая характеристика.

## 2. Аэродинамическая характеристика вентиляционной системы

Наименование помещений	№ участка по схеме	Атмосферное давление, кПа	Размеры сечения воздуховода		Параметры воздуха		Давление воздуха, Па			Скорость $v$ , м/с	Объем воздуха, м <sup>3</sup> /ч
			$d$ или $a \times b$ , мм	$A$ , м <sup>2</sup>	$t$ , °С	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$P_{\text{полн}}$	$P_{\text{ст}}$	$P_{\text{дин}}$		

Краткий анализ состояния и работы системы: \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_ Подписи производивших испытание

\_\_\_\_\_

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о паспортизации вентиляционных установок.
3. Техническое испытание действующей вентиляционной установки.
4. Протокол испытания.
5. Вывод.

### Контрольные вопросы

1. Для чего проводится паспортизация вентиляционной установки?
2. Состав паспорта вентустановки.
3. Какие работы производятся в процессе разработки паспортов вентиляционной системы?
4. Для чего строится аксонометрическая схема вентиляционной системы при испытаниях?
5. Назовите основные технические характеристики вентилятора, электродвигателя, пылегазоулавливающего устройства.
6. Назовите основные аэродинамические характеристики вентиляционной системы.

## Лабораторная работа № 4

### ПУСК И РЕГУЛИРОВКА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

**Цель работы:** определить время выхода системы отопления на стационарный режим работы при пуске и зависимость расхода теплоты в системе отопления от положения термостатического клапана.

#### Основные сведения

Задачей автоматического регулирования является поддержание в определенных пределах или на постоянном уровне того или иного параметра технологического процесса.

*Системой автоматического регулирования САР* называют замкнутую динамическую систему, состоящую из *объекта регулирования ОР* и *автоматического регулятора АР*, взаимодействующих между собой.

*Объектом регулирования* в рассматриваемой системе является отапливаемое помещение (в т. ч. стены, полы, потолок, мебель, радиатор с теплоносителем, люди в помещении).

*Регулируемый параметр* – температура воздуха помещения.

*Тепловые возмущения* состоят из *внешних тепловых возмущений* (сток теплоты в виде тепловых потерь помещения и инфильтрации наружного холодного воздуха через наружные ограждения, приток теплоты в виде солнечного излучения через световые проемы) и *внутренних тепловых возмущений* от людей, электрических приборов, а также от отопительного прибора, величина тепловой нагрузки которого изменяется автоматическим регулятором (рис. 4.1).

*Автоматический регулятор*, получивший у специалистов-сантехников название «радиаторный термостат», состоит из регулирующего клапана (регулирующего органа РО) с установленным на нем регулятором температуры воздуха под названием «термостатическая головка». Она представляет собой *пропорциональный (статический) регулятор прямого действия*, состоящий из датчика, термопривода (исполнительного механизма) и задатчика-головки, при повороте которой происходит изменение задаваемого значения регулируемой температуры воздуха помещения.

В термостатическом клапане в качестве датчика используется манометрический термометр.

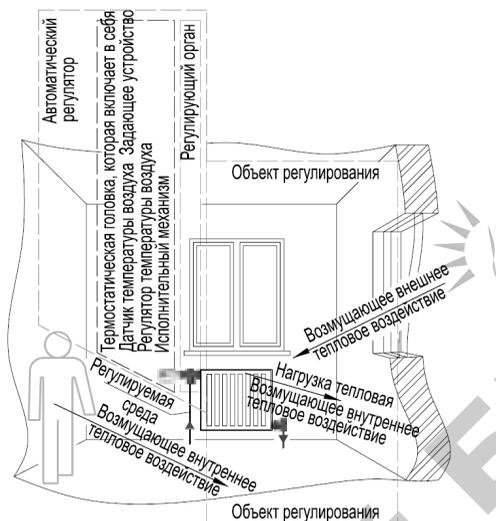


Рис. 4.1. Автоматическое регулирование температуры воздуха в помещении с помощью термостатической головки клапана радиатора

Манометрический термометр представляет собой герметичный объем с наполнителем (газовым, конденсационным, адсорбционным, жидкостным или твердым). Тепловые объемные изменения преобразуются с помощью сильфона в поступательное управляющее воздействие.

На рис. 4.2 показан разрез и внешний вид такого регулятора.

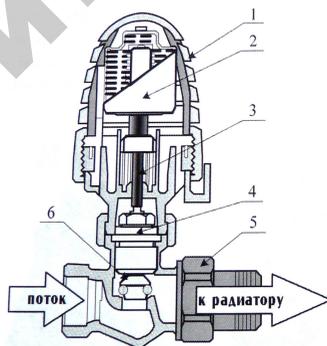


Рис. 4.2. Термостатическая головка:

1 – головка (устанавливается на клапан); 2 – сильфон, наполненный жидкостью; 3 – стержень; 4 – буksы; 5 – клапан регулятора (устанавливается на подающий трубопровод); 6 – шток

Поворотом головки 1 устанавливается положение, соответствующее поддерживаемой в помещении температуре. При увеличении температуры термочувствительная среда в датчике 2 расширяется и передает давление через стержень 3 на шток 6 буксы 4 клапана 5, тем самым уменьшается поток теплоносителя и количество теплоты, снимаемой с радиатора.

Клапан термостатический обеспечивает в помещении комфортную температуру, а также позволяет экономно и рационально использовать тепловую энергию. Монтируется клапан на отдельной ветке трубопровода, которая подает теплоноситель на несколько отопительных приборов либо на каждый радиатор. За счет возможности поддержания необходимой температуры воздуха в отапливаемом помещении и задания ночного и дневного режимов работы обеспечиваются комфортные условия. Экономия тепловой энергии (до 30 %) происходит благодаря тому, что движение теплоносителя в радиаторе начинается только в случае снижения уровня температуры в помещении ниже заданного.

### **Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка (рис. 4.3) состоит из электроводонагревателя ЭВО-9 1, циркуляционного насоса WILO Star RS25/4 2, расширительного бака Reflex N 5 и отопительного прибора 7 с клапаном термостатическим 6. Теплоноситель циркулирует по замкнутому контуру. Для измерения температур теплоносителя до и после отопительного прибора предусмотрены биметаллические торцевые термометры ТБП-100. Измерение расхода теплоносителя осуществляется счетчиком «Струмень-ГРАН» СВГ-15 3.

Отопительный прибор представляет собой радиатор, состоящий из десяти литых алюминиевых секций. Удаление воздуха из системы осуществляется с помощью воздушного крана 8.

Установка оснащена группой безопасности, состоящей из расширительного бака, предохранительного клапана 4 и манометра. Используется закрытый подвесной бак с упругой мембраной, разделяющей две среды – воду и инертный газ. Предохранительный клапан предусмотрен для аварийного сброса избыточного давления.

Температура внутреннего воздуха  $t_v$  определяется по показаниям жидкостного термометра, который находится в аудитории.

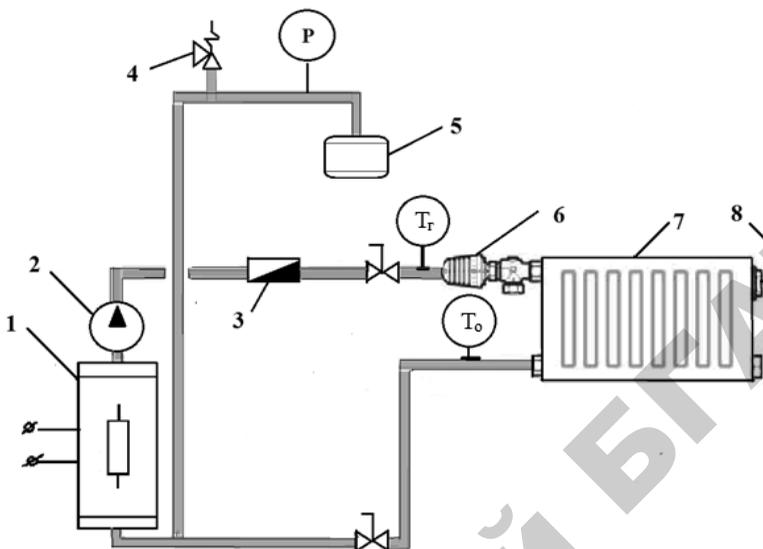


Рис. 4.3. Схема лабораторной установки

### Методика выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой.

Подготовить таблицу рекомендуемой формы для записи результатов измерений.

Таблица

Результаты измерений

Время, ч, мин	Положение термостатической головки	Температура, °C			$V_{сч}, м^3$
		$t_r$	$t_o$	$t_b$	

Установить термостатическую головку в положение «б». Записывать через каждые 5 мин показания измерительных приборов. После наступления стационарного теплового режима выставлять термостатическую головку последовательно в положения «5», «4», «3», «2», «1», «\*», записывая через каждые 5 мин показания измерительных приборов. Показать результаты измерений преподавателю и приступить к обработке данных.

## Обработка результатов измерений

Определить массовый расход теплоносителя, кг/с, проходящего через отопительный прибор:

$$m_t = \rho \Delta V_{\text{сч}} / \tau, \quad (4.1)$$

где  $\rho$  – плотность воды (принять  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ );

$\Delta V_{\text{сч}}$  – разность показаний счетчика,  $\text{м}^3$ , за время измерения  $\tau$ , с.

Рассчитать тепловой поток, Вт, прибора

$$\Phi = c_p m_t (t_r - t_o), \quad (4.2)$$

где  $c_p$  – удельная изобарная теплоемкость воды (принять  $c_p = 4187 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ );

$t_r$  и  $t_o$  – температуры теплоносителя на входе (подающий трубопровод) и на выходе (обратный трубопровод) из прибора,  $^{\circ}\text{C}$ .

Построить зависимость теплового потока отопительного прибора от положения термостатической головки.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о пуске и регулировке системы отопления.
3. Таблица результатов измерений.
4. Определение теплового потока в зависимости от положения термостатического регулятора.
5. Построение графика зависимости теплового потока от положения термостатической головки.
6. Вывод.

## Контрольные вопросы

1. Из чего состоит система автоматического регулирования?
2. Что является объектом регулирования и регулируемым параметром в рассматриваемой системе отопления?
3. Устройство и принцип действия автоматического регулятора (радиаторного термостата).
4. Охарактеризуйте полученную зависимость теплового потока отопительного прибора от положения термостатической головки.

## Лабораторная работа № 5

### ПУСК И РЕГУЛИРОВКА СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Цель работы:** определить время выхода системы горячего водоснабжения на стационарный режим работы при пуске и зависимость КПД и расхода теплоты в системе горячего водоснабжения от режима работы циркуляционного насоса.

#### Основные сведения

Задачей автоматического регулирования системы горячего водоснабжения (ГВС) является поддержание в определенных пределах или на постоянном уровне температуры горячей воды, подаваемой потребителю.

Установки горячего ГВС присоединяют через поверхностные подогреватели по одной из принципиальных схем:

- с непосредственным водоразбором;
- с последовательным присоединением водоподогревателя;
- с параллельным присоединением водоподогревателя;
- с двухступенчатым смешанным присоединением водоподогревателей I и II ступени;
- с двухступенчатым последовательным присоединением водоподогревателей I и II ступени.

При выборе способа присоединения учитывают соотношения максимальных тепловых потоков на ГВС  $Q_{h\max}$  и на отопление  $Q_{o\max}$ :

- при  $Q_{h\max} / Q_{o\max} = 0,2 \dots 1,0$  – по двухступенчатой схеме:
- $Q_{h\max} / Q_{o\max} \leq 0,6$  – по двухступенчатой последовательной;
- $Q_{h\max} / Q_{o\max} > 0,6$  – по двухступенчатой смешанной;
- при остальных соотношениях – по одноступенчатой параллельной.

Последовательную одноступенчатую схему (рис. 5.1, б) присоединения теплообменника системы горячего водоснабжения в настоящее время не применяют из-за вероятности работы современных систем отопления с переменным гидравлическим режимом.

В параллельной одноступенчатой схеме при соблюдении теплогидравлического режима теплосети работа ГВС не влияет на систему отопления (рис. 5.1, в). Сетевая вода поступает в теплообменник системы горячего водоснабжения и возвращается в обратный трубопровод теплосети. Расход сетевой воды зависит от ее температуры и изменяется при работе клапана РТ.

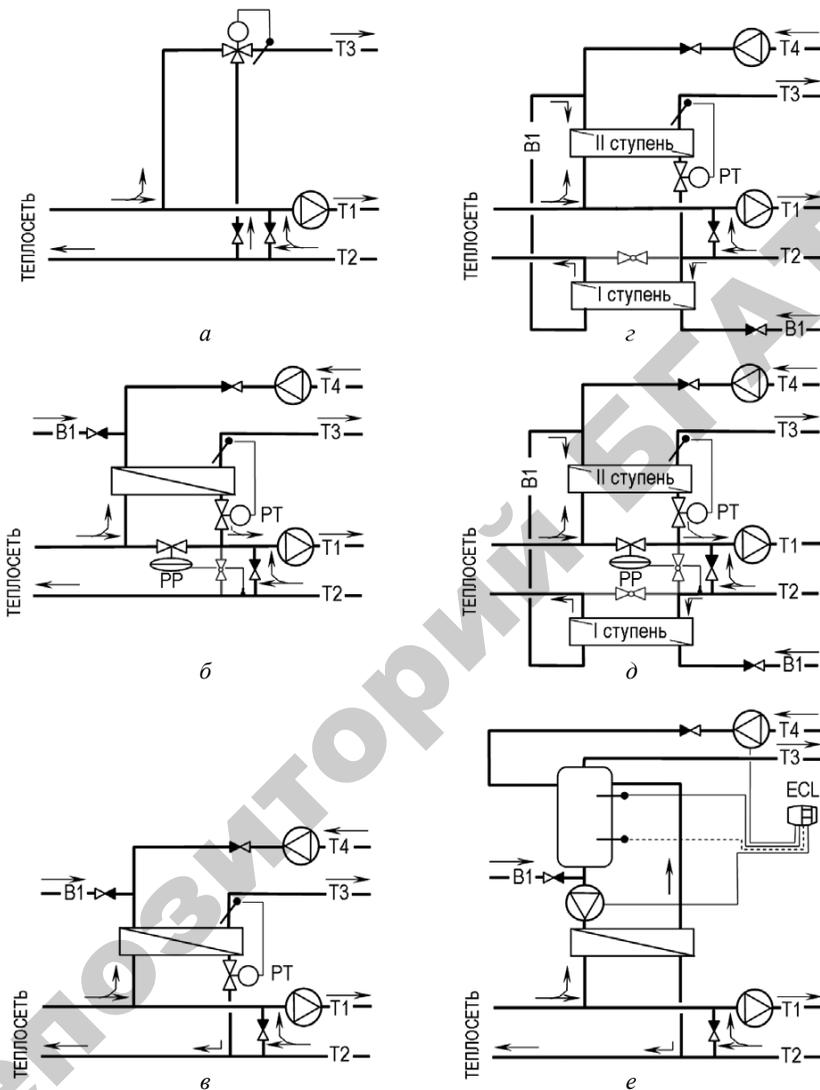


Рис. 5.1. Присоединение систем горячего водоснабжения по схеме:  
 а – с непосредственным водоразбором; б – с последовательным присоединением водоподогревателя; в – с параллельным присоединением водоподогревателя;  
 г – с двухступенчатым смешанным присоединением водоподогревателей;  
 д – с двухступенчатым последовательным присоединением водоподогревателей;  
 е – с параллельным присоединением водоподогревателя и баком-аккумулятором

Одноступенчатые схемы подключения ГВС имеют преимущество в системе теплоснабжения небольшого радиуса действия. Принято считать, что при увеличении мощности и радиуса действия системы теплоснабжения двухступенчатые схемы присоединения ГВС становятся более экономичными, способствуя уменьшению диаметров трубопроводов теплосети. Однако параллельную одноступенчатую схему следует оценить с современных позиций энергосбережения. По сравнению с двухступенчатой она обеспечивает меньшие гидравлические потери, меньшие теплотери, и, что немаловажно, она гораздо проще. Двухступенчатые схемы, с использованием теплоты из обратного трубопровода системы отопления, обеспечивают работу в примерно расчетном режиме короткой промежутки времени (до 10 %), тогда как в остальное время требуют значительных затрат на перекачку теплоносителя.

В двухступенчатой смешанной схеме ГВС водоподогреватель разделен на два теплообменника (рис. 5.1, з). Первый теплообменник подключен к системе отопления последовательно, а второй – параллельно. Вода из водопровода В1 поступает в теплообменник первой ступени, где подогревается за счет остаточной теплоты воды в обратном трубопроводе теплообменника второй ступени и в обратном трубопроводе Т2 системы отопления. Затем вода поступает в теплообменник второй ступени, где догревается до требуемой температуры за счет теплоты сетевой воды, и направляется в трубопровод Т3 системы горячего водоснабжения. В летний период система отопления отключена, и в первую ступень поступает теплоноситель только со второй ступени подогрева.

Отличие двухступенчатого последовательного присоединения теплообменников (рис. 5.1, д) от смешанного (рис. 5.1, з) состоит в том, что теплоноситель со второй ступени поступает в систему отопления аналогично предвключенному теплообменнику (рис. 5.1, б). Такая схема позволяет выравнивать суточный расход воды и теплоты на горячее водоснабжение за счет заимствования от системы отопления, а также покрывать среднюю нагрузку ГВС за счет повышения температуры сетевой воды. Это способствует снижению стоимости наружных тепловых сетей. Однако осуществлять наладку и корректировку системы значительно сложнее, и при несоблюдении температурного графика ЦКР лишает ее всех преимуществ.

В системах горячего водоснабжения промышленных предприятий для выравнивания сменного графика потребления воды объектами, имеющими сосредоточенные кратковременные расходы воды на горя-

чее водоснабжение, должны предусматриваться баки-аккумуляторы. Для объектов, имеющих отношение среднего теплового потока на горячее водоснабжение к максимальному тепловому потоку на отопление меньше 0,2, баки-аккумуляторы не устанавливают.

Схема узла присоединения к тепловой сети системы горячего водоснабжения с нижним баком-аккумулятором показана на рис. 5.1, е.

Циркуляционный трубопровод предназначен для циркуляции воды в ГВС, обеспечивающей компенсацию теплопотерь в трубопроводах. Циркуляционный расход горячей воды рассчитывают с учетом остывания воды в трубопроводах на 8,5 либо 10 °С в зависимости от гидравлических условий в системе.

Современные системы горячего водоснабжения для снижения теплопотребления оснащают терморегуляторами на циркуляционных трубопроводах со встроенной функцией термической дезинфекции при температуре 70 °С.

Благодаря таким системам ГВС выравнивается температура воды во всех стояках, чем устраняются излишние теплопотери в ближних стояках; снижаются затраты на перекачивание воды и обеспечиваются требуемые ее параметры у потребителя; система динамически подстраивается под неравномерность водоразбора и ограничивает расход воды в циркуляционных трубопроводах.

В схему системы горячего водоснабжения вводится многофункциональный термостатический циркуляционный клапан *MTCV* (версия *A*), показанный на рис. 5.2, а, или *MTCV* (версия *B*).

При превышении температуры воды в циркуляционном трубопроводе над заданной на клапане он прикрывается, ограничивая циркуляцию до минимума, соответствующего теплопотерям в трубопроводах. Если температура воды становится ниже заданного значения, клапан открывается и увеличивает ее циркуляцию. Таким образом вся система поддерживается в равновесном температурном и гидравлическом состоянии.

ГВС в подавляющем большинстве случаев имеют переменный гидравлический режим. Уравновесить их возможно лишь автоматическими клапанами.

Кроме терморегулирования клапанами *MTCV* (версия *B*) можно реализовать еще и термическую дезинфекцию трубопроводов при низких температурах – 70...75 °С. Такой способ обеззараживания системы от патогенных бактерий стал альтернативой вместо трудоемкого, экологически и санитарно-гигиенически опасного хлорирования, предписываемого нормами.

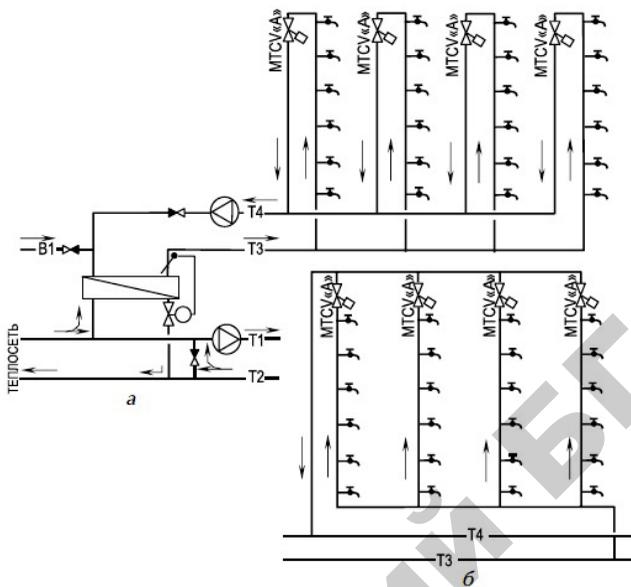


Рис. 5.2. Схемы системы горячего водоснабжения с термостатическими клапанами на циркуляционных трубопроводах:  
*a* – европейская; *б* – отечественная

Реализация в полной мере современных подходов проектирования систем горячего водоснабжения приводит не только к уменьшению типоразмеров оборудования тепловых пунктов, повышению качества предоставляемой услуги, но и к значительному экономическому эффекту. Так, лишь за счет применения терморегуляторов на циркуляционных трубопроводах теплотребление уменьшается до 55 %.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 5.3) состоит из электроводонагревателя ЭВО-9 1, циркуляционного насоса WILO Star RS25/4 2, расширительного бака Reflex N 5 и водоподогревателя 6, имеющего две секции. Площадь поверхности теплообмена одной секции 0,09 м<sup>2</sup>. Горячий теплоноситель (вода) циркулирует по замкнутому контуру, проходя по внутренней трубе отдельных секций. Измерение расхода горячего теплоносителя осуществляется счетчиком «Струмень-ГРАН» СВГ-15 3. Холодный теплоноситель (вода)

поступает из водопровода по трубе 7 в пространство между наружной и внутренней трубами каждой из секций и после подогрева сливается в канализацию. Расход холодного теплоносителя измеряется счетчиком «Струмень-ГРАН» СВХ-15 8. Для измерения температур теплоносителей до и после каждой секции теплообменника предусмотрены биметаллические торцевые термометры ТБП-100.

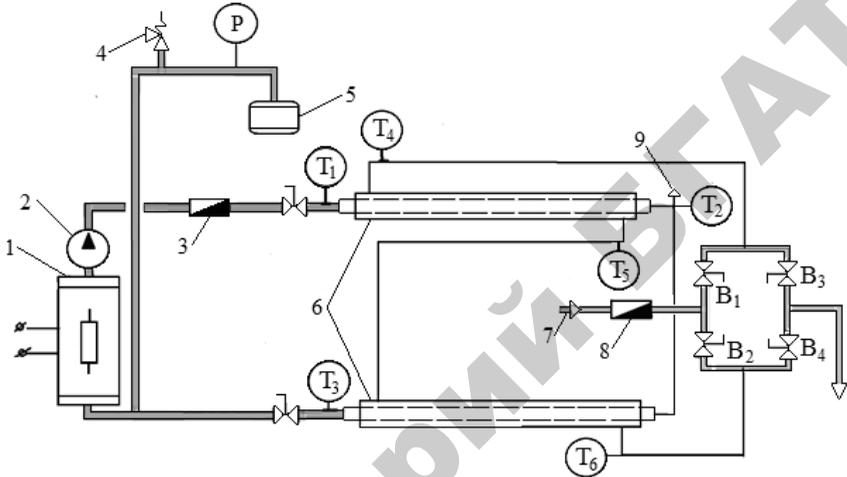


Рис. 5.3. Схема лабораторной установки

Для изменения схемы движения теплоносителей предусмотрены вентили В1...В4.

Удаление воздуха из системы осуществляется с помощью воздушного крана 9. В установке предусмотрен предохранительный клапан 4 для аварийного сброса избыточного давления.

### Методика выполнения работы

Ознакомиться с лабораторной установкой.

Установить по указанию преподавателя схему движения теплоносителей. Для прямотока открыть вентили В1, В4 и закрыть вентили В2, В3, а для противотока открыть вентили В2, В3 и закрыть вентили В1, В4.

Подготовить таблицу рекомендуемой формы для записи результатов измерений.

Результаты измерений

Время, ч, мин	Температура, °С						$V_{сч1}, \text{М}^3$	$V_{сч2}, \text{М}^3$	Примечание
	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$			

В графе «Примечание» привести наименование схемы движения теплоносителей. Записывать через каждые 5 мин показания измерительных приборов. После наступления стационарного теплового режима выставлять режим работы насоса последовательно в положения «65», «46», «30», записывая через каждые 5 мин показания измерительных приборов. Показать результаты измерений преподавателю и приступить к обработке данных.

### Обработка результатов измерений

Определить массовые расходы, кг/с, горячего  $m_{t1}$  и холодного  $m_{t2}$  теплоносителей:

$$m_t = \rho \Delta V_{сч} / \tau, \quad (5.1)$$

где  $\rho$  – плотность воды (принять  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ );

$\Delta V_{сч}$  – разность показаний счетчика,  $\text{м}^3$ , за время измерения  $\tau$ , с.

Рассчитать тепловые потоки и КПД теплообменного аппарата для трех режимов работы насоса по формулам

$$\Phi_1 = c_{p1} m_{t1} (t'_1 - t''_1); \quad (5.2)$$

$$\Phi_2 = c_{p2} m_{t2} (t''_2 - t'_2); \quad (5.3)$$

$$\eta = \Phi_2 / \Phi_1, \quad (5.4)$$

где  $\Phi$  – тепловой поток теплоносителя, Вт;

$c_p$  – удельная изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);

$m_t$  – массовый расход теплоносителя, кг/с;

$\eta$  – КПД теплообменника.

В уравнениях (5.2), (5.3) индексом «1» обозначаются параметры горячего теплоносителя, а индексом «2» – холодного. Обозначение (') соответствует параметрам теплоносителя на входе в теплообменник, (") – на выходе из аппарата.

Построить зависимости теплового потока холодного теплоносителя и КПД водоподогревателя от положения регулятора частоты вращения насоса.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Основные сведения об автоматическом регулировании горячего водоснабжения.
3. Таблица результатов измерений.
4. Определение теплового потока и КПД теплообменного аппарата.
5. Построение графика зависимости теплового потока и КПД от положения регулятора частоты вращения насоса.
6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите способы присоединения установок ГВС к тепловым сетям.
2. Охарактеризуйте схему присоединения ГВС с непосредственным водозабором, с последовательным и параллельным присоединением водоподогревателя.
3. Охарактеризуйте схему присоединения ГВС с двухступенчатым смешанным и последовательным присоединением водоподогревателей I и II ступени.
4. Преимущества системы горячего водоснабжения с терморегуляторами на циркуляционных трубопроводах.
5. Охарактеризуйте полученные зависимости теплового потока холодного теплоносителя и КПД водоподогревателя от положения регулятора частоты вращения насоса.

## Лабораторная работа № 6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОССЕЛЬНЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

**Цель работы:** определение конструктивной и расходной характеристики регулирующего органа.

#### Основные сведения

Регулирующим органом (РО) называется устройство, изменяющее количество среды, проходящей через объект регулирования, в зависимости от значения регулируемой величины или другого задающего воздействия. В качестве распределительных РО наибольшее распространение получила дроссельная арматура – клапаны, поворотные заслонки, шиберы и т. п.

Особое внимание выбору и расчету дроссельных РО уделяется в системах автоматического регулирования, где РО непосредственно воздействуют на объект и конструктивно с ним связаны.

Входными величинами для исследуемых регулирующих органов являются: для поворотной заслонки – ее линейное перемещение, для клапана – линейное перемещение штока. За выходные величины принимают расход среды или параметр, косвенно с ним связанный, например скорость потока.

Конструктивная характеристика  $m = f(n)$  выражает зависимость изменения проходного сечения РО от степени открытия заслонки (клапана). Проходное сечение РО определяется по формуле

$$m = f / A, \quad (6.1)$$

где  $f$  – текущее значение площади проходного сечения РО;

$A$  – площадь проходного сечения входного патрубка РО;

Степень открытия заслонки (клапана) определяется по формуле

$$n = h / h_{\max} = \alpha / \alpha_{\max}, \quad (6.2)$$

где  $h$ ,  $\alpha$  – величина хода и угол поворота, отсчитываемые от крайнего положения, соответствующего минимальному открытию;

$h_{\max}$ ,  $\alpha_{\max}$  – максимальная величина хода, соответствующая полному открытию).

Расходная характеристика  $\mu = f(n)$  выражает зависимость изменения относительного расхода от степени открытия. Относительный расход находится по формуле

$$\mu = L / L_{\max}. \quad (6.3)$$

### Методика выполнения работы

Эксперименты проводятся на вентиляционной сети, изображенной на рисунке. В качестве дроссельного регулирующего органа выбрана заслонка шибирующего типа.

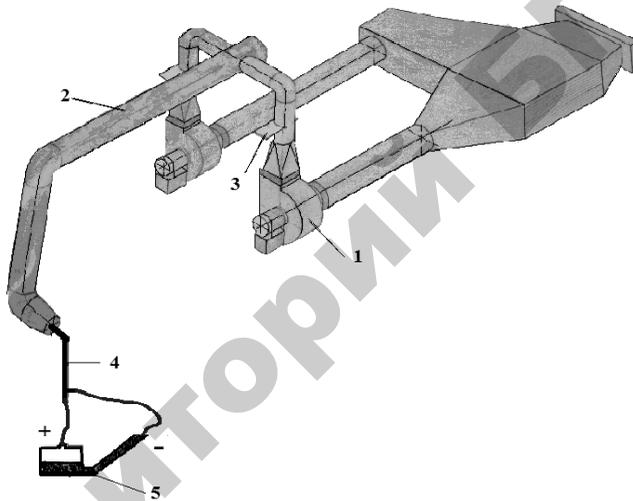


Рис. Схема лабораторной установки:

- 1 – вентилятор; 2 – участок воздуховода; 3 – заслонка;  
4 – пневмометрическая трубка; 5 – микроманометр

Экспериментальные исследования проводятся следующим образом. Осуществляют пуск вентилятора при закрытой заслонке. При этом на шибере делают пометку. Затем заслонку полностью открывают и снова делают пометку. Между двумя крайними положениями выбирают три точки, находящиеся на одинаковом расстоянии друг от друга. При всех пяти положениях измеряют динамическое давление  $P_d$ . Расход воздуха определяют по динамическому давлению.

Далее по формулам (6.2) и (6.3) находят величины  $n$  и  $\mu$ , а при помощи графического построения – величины  $m$ . На основании

экспериментальных и расчетных данных, которые заносят в таблицу рекомендуемой формы, строят в масштабе характеристики. По оси абсцисс откладывают степень открытия  $n$ , по оси ординат – значения  $m$  и  $\mu$ .

Таблица

Экспериментальные данные

Наименование	Обозначение	Размерность	Степень открытия заслонки				
			0	1	2	3	max
Динамическое давление	$P_d$	Па					
Расход воздуха	$L$	м <sup>3</sup> /ч					
Относительный расход	$\mu$	–					
Относительное проходное сечение	$m$	–					

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о дроссельных регулирующих органах.
3. Таблица экспериментальных данных.
4. Определение динамического давления, расхода воздуха, относительного расхода.
5. Построение конструктивной и расходной характеристик, графика зависимости относительного расхода и относительного проходного сечения от степени открытия регулирующего органа.
6. Вывод.

### Контрольные вопросы

1. Что такое конструктивная характеристика регулирующего органа?
2. Что такое расходная характеристика регулирующего органа?
3. Как определяется расход воздуха на выходе из воздухораспределителя при помощи трубки Пито?
4. Охарактеризуйте полученную графическую зависимость относительного расхода и относительного проходного сечения от степени открытия заслонки.

## Лабораторная работа № 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АБОНЕНТСКОГО ВВОДА С ЭЛЕВАТОРОМ

**Цель работы:** определение характеристик элеваторного узла и сопоставление фактических величин с расчетными.

#### Основные сведения

Несмотря на то что в последние годы все большее распространение получает независимая схема присоединения абонентов к тепловым сетям, элеваторная схема при достаточном располагаемом напоре у потребителя остается наиболее простой и экономичной.

Принцип действия элеватора заключается в следующем: перегретая вода из подающей магистрали поступает в конусное съемное сопло, где скорость движения воды резко возрастает, в результате чего струя воды, выходящая из сопла в камеру смешивания, подсаживает охлажденную воду из обратного трубопровода через перемычку во внутреннюю полость элеватора. При этом в элеваторе происходит смешение перегретой и охлажденной воды, поступающей из системы отопления. Таким образом вода требуемой температуры поступает в нагревательные приборы системы отопления.

Элеватор устойчив в работе при изменении теплового и гидравлического режима в тепловых сетях. Также он не требует постоянного наблюдения, а регулировка его производительности заключается лишь в выборе правильного диаметра сопла. Подбор размеров и диаметров труб элеваторного узла, а также выбор диаметра сопла должен осуществляться только проектным расчетом.

Чтобы защитить элеватор от попадания крупных частиц в конус, что может частично или полностью прекратить его работу, перед элеватором обязательно устанавливают грязевик.

К основным характеристикам элеватора относятся: коэффициент смешения  $u$ , степень соответствия расхода воды и КПД элеваторного узла.

*Коэффициент смешения* – это отношение массы подмешиваемой (обратной от системы отопления) воды к массе сетевой воды, поступающей из тепловой сети. Он может быть выражен отношением разностей температур

$$u = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2}, \quad (7.1)$$

где  $\tau_1$  – температура сетевой воды в подающей магистрали перед элеватором, °С;

$\tau_2$  – температура воды после системы отопления, °С;

$\tau_3$  – температура воды, поступающей в систему отопления, °С.

Для создания расчетного коэффициента смешения перепад давления  $\Delta P$  перед элеватором должен быть

$$\Delta P = 1,5(1 + u)^2 P_{\text{сис}}, \quad (7.2)$$

где  $P_{\text{сис}}$  – падение давления в системе отопления, Па. Оно принимается по разности показаний манометров, установленных в системе отопления после элеватора на подающей и обратной линиях.

Степень соответствия фактического расхода воды, поступающей в систему отопления, расчетному проверяется с помощью выражения

$$y = \frac{(\tau_1 - \tau_2)(\tau_3^\phi + \tau_2^\phi - 2t_n^\phi)}{(\tau_1^\phi - \tau_2^\phi)(\tau_3 + \tau_2 - 2t_n^\phi)}, \quad (7.3)$$

где  $t_n^\phi$  – температура наружного воздуха, измеряемая во время проведения опыта, °С.

Буквенные обозначения с индексом «ф» определяют показания фактических температур, а без индекса – расчетные.

Несоответствие фактического и расчетного расходов воды при  $0,9 < y < 1,5$  требует замены сопла.

Коэффициент полезного действия элеваторного узла, %, определяется по выражению

$$\eta = u \frac{P_{\text{сис}}}{P_{\text{п}} - P_{\text{сис}}} 100, \quad (7.4)$$

где  $P_{\text{п}}$  – полное давление, Па.

## Методика выполнения работы

Эксперименты проводятся в тепловом пункте абонентского ввода, оборудованного типовым элеваторным узлом (рис.).

На подающей и обратной магистралях установлены грязевики, запорная арматура. Для измерения температур и давления установлены термометры и манометры.

В соответствии с графиком центрального качественного регулирования (ЦКР) по  $t_n^{\phi}$  находят расчетные величины  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $\tau_3$ , а по показаниям термометров – фактические их величины. По манометрам снимают показания давления перед элеватором  $P_{II}$ ,  $P_0$  и в системе отопления  $P_1$ ,  $P_2$ . Данные измерений заносят в таблицу рекомендуемой формы. По выражениям (7.1–7.4) рассчитываются основные характеристики элеватора, после чего производится сопоставление фактических и расчетных величин и анализ результатов.

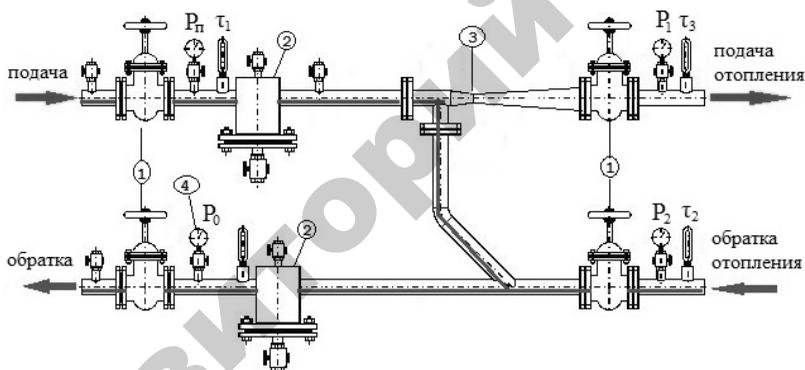


Рис. Схема абонентского ввода с элеватором:

1 – запорная арматура (задвижки); 2 – грязевик;

3 – элеватор водоструйный; 4 – манометр

Таблица

### Экспериментальные данные

Величины	Температура, °С				Давление, Па					Степень соответствия расхода $y$	$\eta$ , %
	$t_n^{\phi}$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$P_{II}$	$P_0$	$P_1$	$P_2$	$P_{\text{сис}} = P_1 - P_2$		
Фактические											
Расчетные	—						—	—	—	—	

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о работе абонентского ввода с элеватором.
3. Таблица экспериментальных данных.
4. Определение КПД элеваторного узла.
5. Вывод.

## Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия элеваторного узла.
2. Перечислите основные характеристики элеватора.
3. Как определяется коэффициент смешения?
4. Как строится график ЦКР?
5. Как устанавливается степень соответствия фактического расхода воды, поступающей в систему отопления при элеваторной схеме, расчетному расходу?

## Лабораторная работа № 8

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРФОРИРОВАННОГО ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

**Цель работы:** определение основных характеристик перфорированного воздухораспределителя – потери давления и распределения подаваемого воздуха по длине воздухораспределителя.

#### Основные сведения

Первые текстильные воздухопроводы появились в пищевой промышленности благодаря гигиеническим требованиям к оборудованию пищевых производств, которое должно легко и безукоризненно очищаться. Такому условию при всех возможностях распределения воздуха удовлетворяют текстильные воздухопроводы. После стирки они становятся совершенно чистыми, а добавка дезинфицирующего средства уничтожает и микроорганизмы, устойчивые к антибактериальной обработке ткани.

Ткани из непрерывных волокон, разработанные для текстильных воздухопроводов чешского производителя Prihoda, очень гладкие и исключают возможность осаждения загрязнений. Этим они отличаются от воздухопроводов из отрезков волокон, которые постепенно заполняются пылью и могут представлять санитарную опасность. Отдельные детали соединяются между собой с помощью застёжек-молний.

Среди очевидных преимуществ тканевых воздухопроводов можно выделить следующие:

– простота установки: в зависимости от конструкции и формы воздуховода под перекрытием натягивается стальной оцинкованный канат либо прокладываются две металлические штанги, к которым воздухопровод подвешивается как обыкновенная сдвижная портьера;

– легкость конструкции: постоянный удельный вес тканевых воздухопроводов составляет 250 г на 1 м<sup>2</sup> площади, и по этому параметру они сопоставимы с пластмассовыми, тогда как удельный вес металлоконструкций гораздо выше – 8000 г на 1 м<sup>2</sup> площади;

– низкая стоимость доставки воздухопроводов: в отличие от металлических и пластмассовых конструкций тканевые воздухопроводы

в силу мягкости материала и малой толщины складываются и упаковываются в обычные коробки. Благодаря этому стоимость их доставки по сравнению с металлическими или пластмассовыми конструкциями почти на 90 % ниже;

– гигиеничность: возможность быстрой сборки и разборки существенно облегчает уход за такими воздуховодами и их обслуживание, в частности их очистку и дезинфекцию, что делает их идеальным решением для всех участков, где чистота и стерильность являются обязательным условием, например на предприятиях пищевой и фармацевтической промышленности, в птицеводческих помещениях.

Распределение воздуха осуществляется сквозь материал, перфорированный отверстиями различного диаметра, размещенными на ткани особым образом. Варьируя размеры отверстий и их расположение, можно воссоздать бесконечное количество способов воздухораспределения, начиная с рассеивания с низкой скоростью и заканчивая целенаправленной подачей на большое расстояние.

Рассеивание воздуха через малые отверстия диаметром 0,2–0,4 мм обеспечивается воздуховодами с микроперфорацией.

Для направленной подачи воздуха используются ряды отверстий диаметром 4 мм и более, которые называются перфорацией (рис. 8.1).

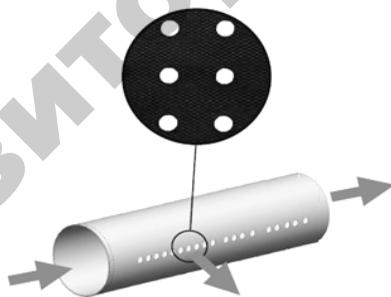


Рис. 8.1. Вид перфорированного воздуховода

Обычный текстильный воздухопровод используется при тех же скоростях воздуха, что и традиционный трубопровод.

Максимально допустимая скорость воздушного потока ограничивается, с одной стороны, аэродинамическими требованиями к помещению, в котором установлена вентисистема, а с другой стороны –

возможностью турбулизации потока, которая может вызвать вибрацию ткани. При расчетах необходимо учитывать конкретные значения потока, уровень статического давления и вес ткани.

Потери давления в текстильном воздуховоде аналогичны потерям давления в традиционном трубопроводе.

Минимальное статическое давление, необходимое для поддержания правильной формы воздуховода, зависит от массы используемой ткани. Для легких материалов достаточно 20 Па, для средних и тяжелых – 50 Па. Однако распределение давления по длине диффузора отличается от традиционного распределения в трубопроводе сниженной продольной скоростью.

### Методика выполнения работы

Исследования проводятся на тканевом (текстильном) воздуховоде с перфорацией чешской компании Prihoda. Он также известен под названием «текстильный диффузор» и выполнен из воздухопроницаемой ткани NMS – 100%-й полиэстер, непрерывное волокно, вес – 225 г/м<sup>2</sup>, толщина – 0,31 мм.

Лабораторная установка (рис. 8.2) содержит перфорированный тканевый воздуходелитель диаметром 210 мм и длиной 9,0 м. Для раздачи воздуха предусмотрено четыре ряда воздуховыпускных отверстий диаметром 6 мм, расположенных с шагом 40 мм.

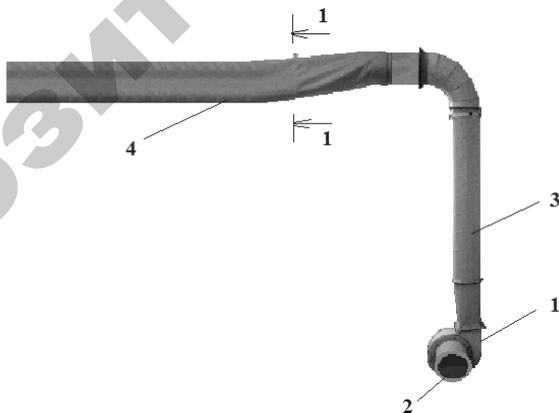


Рис. 8.2. Схема установки для испытания перфорированного воздуходелителя:  
1 – вентилятор; 2 – всасывающий патрубок; 3 – нагнетательный воздуховод; 4 – перфорированный воздуходелитель

Воздухораспределитель разбит на участки, соединенные между собой застёжкой-молнией.

Измерение давления воздуха производится с помощью пневмометрической трубки и микроманометра ММН-240. Результаты измерения давления используются для расчета скорости истечения и расхода воздуха через воздуховыпускные отверстия.

В сечении 1–1, расположенном в начале воздухораспределителя, измеряются полное, статическое и динамическое давления в шести точках (в соответствии с метками на пневмометрической трубке). Результаты измерений заносят в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Результаты измерения давлений в сечении 1–1

Номер точки	Полное			Статическое			Динамическое		
	$H$ , мм	К	$P_{п}$ , Па	$H$ , мм	К	$P_{ст}$ , Па	$H$ , мм	К	$P_{д}$ , Па
1									
2									
3									
4									
5									
6									

По длине воздухораспределителя измеряются статические давления воздуха. Пневмометрическую трубку вставляют внутрь воздухораспределителя через воздуховыпускные отверстия. Первое сечение, в котором производится измерение, расположено по оси первого (от начала воздухораспределителя) отверстия, а все последующие сечения выбираются через 0,5 м.

Результаты измерений и расчетов статического давления, а также скорости истечения через воздуховыпускные отверстия записывают в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты измерений и расчетов статических давлений и скорости истечения

Точка измерения	$H$ , мм	К	$P_{ст}$ , Па	$v$ , м/с

Скорость истечения воздуха из отверстий рассчитывается по выражению

$$v = \mu \sqrt{2 \frac{P_{ст}}{\rho}}, \quad (8.1)$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода (допустимо принимать  $\mu = 0,65$ );  
 $P_{ст}$  – статическое давление воздуха по оси соответствующего поперечного сечения воздухораспределителя.

### Обработка результатов измерений

Рассчитываются динамическое, статическое и полное давления в сечении 1–1, а также средняя скорость и расход воздуха в этом сечении. Методика расчета изложена в лабораторной работе № 1.

Результаты расчета записывают в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Результаты расчетов давлений и расходов

Сечение	$P_d^{cp}$ , Па	$P_{ст}^{cp}$ , Па	$P_{п}^{cp}$ , Па	$v_d^{cp}$ , м/с	$Q_v$ , м <sup>3</sup> /ч

Потерю давления  $\Delta P$ , Па, на воздухораспределителе принимают равной полному давлению в начале воздухораспределителя.

Производится построение графика статического давления по длине воздухораспределителя. Здесь же над графиком статического давления откладываются значения динамического давления воздуха, рассчитываемые по формуле

$$P_d = P_{дн} \left( \frac{x}{l} \right)^2, \quad (8.2)$$

где  $P_{дн}$  – динамическое давление в начальном сечении 1–1;

$x$  – текущая координата, определяемая от начала воздухораспределителя;

$l$  – длина воздухораспределителя.

Расчет выполняется для сечений, в которых измеряется статическое давление.

Над графиками изображают воздухораспределитель с указанием отверстий с одной стороны воздухораспределителя и номеров сечений (точек) измерения давлений.

Все построения выполняются в масштабе (по оси координат  $x$  используется масштаб 1:50). Начало воздухораспределителя совмещают с началом координат ( $x = 0$ ). При изображении воздухораспределителя используют измеренные расстояния между рядами отверстий.

Данные для построения графиков записывают в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Данные для построения графиков давлений

Точка измерения	Расстояние между сечениями $x$ , м	Давления, Па		
		$P_{ст}$	$P_d$	$P_n$

Воздуховод разбивают на участки длиной 1 м и определяют расход воздуха через воздуховыпускные отверстия, расположенные на каждом участке. Статическое давление и скорости истечения для отверстий, против которых не производилось измерение статического давления, принимают равными значениям соответствующих величин в близлежащих точках измерения.

Расчет расхода воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, через отверстия, расположенные на единицу длины воздухораспределителя, производится по формуле

$$L = 3600nA_0v_{cp}, \quad (8.3)$$

где  $n$  – число отверстий, выполненных по длине воздухораспределителя в 1 м;

$A_0$  – площадь воздуховыпускного отверстия, м<sup>2</sup>;

$v_{cp}$  – средняя скорость истечения из отверстий, м/с.

Средняя скорость истечения определяется как среднее арифметическое из скоростей истечения через воздуховыпускные отверстия на рассматриваемом участке:

$$v_{cp} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}, \quad (8.4)$$

где  $v_1, v_2, \dots, v_n$  – скорости истечения через отверстия.

Результаты расчетов записывают в табл. 8.5.

Результаты расчета расхода воздуха

Номер участка	$n$	$A_0, \text{м}^2$	$v, \text{м/с}$	$L, \text{м}^3/\text{ч}$

Участки длиной 1 м нумеруются от начала воздухораспределителя.

По результатам расчета определяют суммарный расход воздуха через воздухораспределитель, средний расход воздуха при раздаче на длине воздухораспределителя 1 м, максимальное отклонение (абсолютное и относительное) расхода воздуха  $L$  от рассчитанного среднего значения.

Анализ результатов исследования содержит вывод о качестве (размерности) распределения воздуха по длине воздухораспределителя и сравнение рассчитанных значений суммарного расхода воздуха по параметрам в начальном сечении и при раздаче воздуха через отверстия.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о перфорированном воздухораспределителе.
3. Таблица экспериментальных данных и результатов расчета основных параметров воздухораспределителя.
4. Определение качества (размерности) распределения воздуха по длине воздухораспределителя.
5. Вывод.

### Контрольные вопросы

1. Изложите правила измерения давлений в потоке воздуха.
2. Каковы основные требования к воздухораспределителям?
3. Что представляет собой текстильный перфорированный воздуховод?
4. Охарактеризуйте изменение давлений и расхода воздуха по длине воздухораспределителя постоянного поперечного сечения.

## Лабораторная работа № 9

### РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

**Цель работы:** изучить порядок проведения режимно-наладочных испытаний водогрейного котла, ознакомиться с методикой расчета технологических и теплотехнических параметров и составить режимную карту котла.

#### Основные сведения

Эксплуатационные испытания котельных агрегатов разделяют на пусконаладочные работы и приемочные испытания, режимно-наладочные и контрольно-балансовые работы.

*Пусконаладочные работы* выполняются сразу после монтажа оборудования. В объем работ входит комплексное опробование всех элементов котельной установки, включая горелки, тягодутьевые установки и хвостовые поверхности нагрева с целью проверки надежности и безопасности их работы, а также достижения проектных параметров.

*Приемочные испытания* котельных агрегатов выполняются для проверки соответствия экономических показателей оборудования гарантийным показателям завода-изготовителя.

*Режимно-наладочные испытания* котельных агрегатов выполняются для выбора оптимальных режимов работы основного и вспомогательного оборудования, составления режимной карты для обслуживающего персонала, разработки рекомендаций, направленных на повышение экономичности работы котельной установки.

Режимно-наладочные испытания выполняются после окончания пусконаладочных работ и освоения персоналом методов надежной и безопасной эксплуатации оборудования. При режимной наладке котельной установки производятся замеры расходов, скоростей, давления сжигаемого топлива, температуры и состава продуктов горения и других параметров, характеризующих физические процессы.

Режимно-наладочные работы выполняются специализированными организациями в соответствии с хозяйственными договорами, заключенными с предприятиями.

Проведение режимно-наладочных работ предусматривается соответствующими инструкциями один раз в 3–5 лет (на газовых

котельных – раз в 3 года; на котельных, работающих на твердом и жидком топливе, – раз в 5 лет). Это объясняется тем, что обычно в течение этого периода изменяются исходные параметры, при которых были составлены режимные карты. Кроме того, изменениям могут подвергаться отдельные части котлоагрегата и вспомогательного оборудования: появляются трещины в обмуровке, накипь на теплообменных поверхностях, конструктивные изменения после проведения различных ремонтно-восстановительных работ, особенно топочной части. В результате режим горения становится неэффективным: изменяется общий объем дымовых газов и их температура, снижается КПД оборудования, увеличивается потребление топлива и вредные выбросы.

После испытаний и обработки опытных данных рассчитываются показатели котельной установки, характеризующие экономичность сжигания топлива, интенсивность работы топки и поверхностей нагрева, аэродинамическое сопротивление газового тракта.

Выполняется целый ряд теплотехнических расчетов, характеризующих топливо и продукты сгорания, определяются коэффициенты избытка воздуха и присосы воздуха в газоходы котла, составляется тепловой баланс котельного агрегата с определением тепловых потерь и КПД. Наладочные испытания обычно проводятся по II классу точности с определением КПД котельной установки с точностью до  $\pm 2\%$ .

Основные этапы режимно-наладочных испытаний котлов:

- ознакомление с работой и с проектными данными установки;
- составление программы и методики испытаний;
- проведение подготовительных и пробных работ для проверки работы оборудования и контрольно-измерительных приборов;
- проведение основных программных работ, обработка результатов измерений и составление сводных таблиц и графиков;
- составление технического отчета, режимных карт и мероприятий, направленных на повышение экономичности установки.

К основным программным относятся следующие работы:

- настройка оптимальных режимов горения котлов с помощью газоанализатора;
- определение максимального КПД котлоагрегатов при различных нагрузках;
- проверка срабатывания автоматики безопасности согласно паспортным данным устройств;

- настройка оптимальной работы системы химводоподготовки;
- настройка рабочих параметров работы котельной в соответствии с режимными картами;
- общая проверка работоспособности всего оборудования (манометры, термометры, сбросные клапаны, состояние трубопроводной арматуры и т. д.).

Основными параметрами водогрейного котла являются: давление воды в сетевом и котловом контуре, давление воды в системе ГВС, температура воды в котловом контуре и т. д.

*Контрольно-балансовые испытания* котельных агрегатов выполняются для проверки работы установки в эксплуатационных условиях с целью контроля основных показателей и качества работы эксплуатационного персонала. Контрольно-балансовые испытания следует проводить систематически после каждого капитального ремонта или внесения конструктивных изменений в отдельные узлы оборудования.

Режимная карта – документ, составленный на основании режимно-наладочных и балансовых испытаний, содержащий основные оперативные и контрольные параметры работы топков и котла, значение КПД, удельный расход топлива при различной производительности, предельные значения параметров, контролируемых автоматикой безопасности и регулирования.

Режимная карта водогрейного котла на газообразном топливе включает: расход топлива; давление газа и воздуха перед горелками; содержание котла  $RO_2$  и  $O_2$ ; температуру уходящих газов; разрежение в топке и за котлом. Указанные показатели обычно приводятся при различной тепловой мощности котла (40, 60, 90, 100 % мощности).

Корректировка режимной карты проводится при изменении теплоты сгорания топлива более чем на 10 %, после капитального ремонта, реконструкции или отклонения рабочих параметров от нормальных значений.

## **Методика выполнения работы**

Ознакомиться с оборудованием водогрейной котельной установки и его технической характеристикой. Составить схему замеров (рис. 9.1).

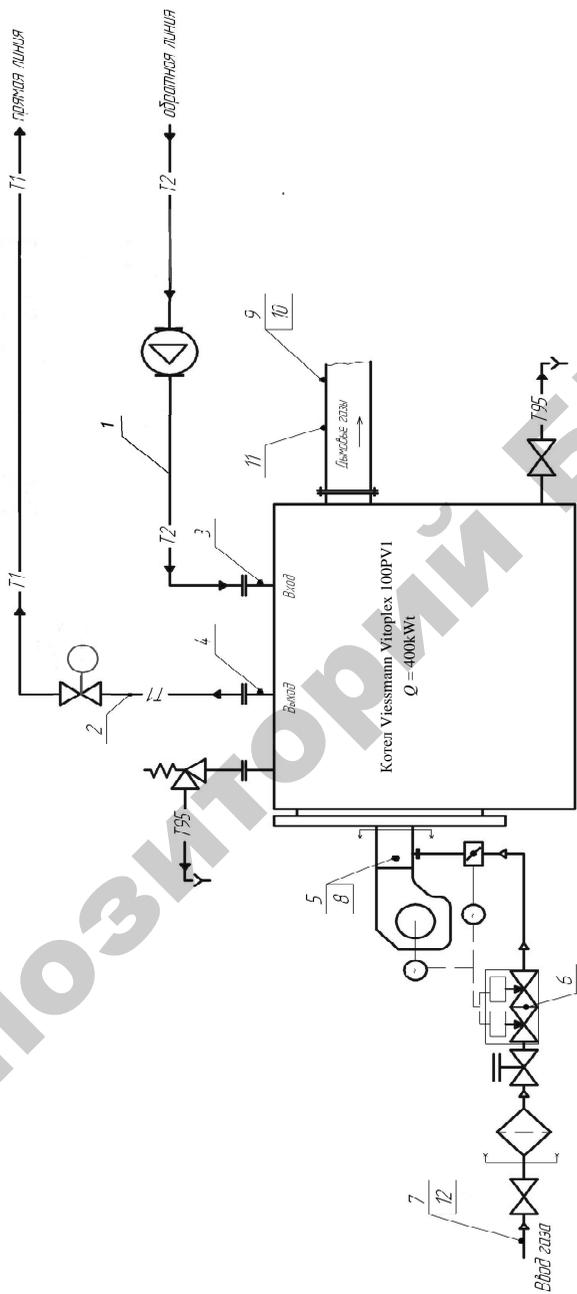


Рис. 9.1. Схема размещения точек замеров при теплотехнических испытаниях водогрейного котлоагрегата согласно спецификации измерений

При помощи средств измерений, указанных в табл. 9.1, провести теплотехнические испытания (3–5 опытов для каждой нагрузки). Подготовить форму режимной карты водогрейного котла (табл. 9.2) для записи результатов испытаний и расчетов.

Таблица 9.1

Спецификация измерений при теплотехнических испытаниях водогрейного котла

Наименование измерений	Место измерения (поз. на схеме)	Применяемые приборы	Класс точности	Цена деления	Верхний предел
Давление воды:					
на входе, кгс/см <sup>2</sup>	1	Манометр	1,6	0,2	10
на выходе, кгс/см <sup>2</sup>	2	Манометр	1,6	0,2	6
Температура:					
воды на входе, °С	3	Термометр ТК-5.04	1,5	2	120
воды на выходе, °С	4	Термометр ТК-5.04	1,5	2	120
воздуха, °С	5	Анемометр Testo-635	1	0,1	100
топлива, °С	6	Газоанализатор Testo	1	0,1	–
Давление:					
топлива перед горелкой, мм вод. ст.	7	U-образный манометр	1	1,0	–
воздуха, мм вод. ст.	8	U-образный манометр	1	1,0	–
Разряжение в топке котла, кПа	9	Тягонапоромер	1	0,5	–
Состав продуктов сгорания	10	Газоанализатор Testo-325-1	1	–	–
Температура продуктов сгорания, °С	11	Газоанализатор Testo-325-1	1	–	–
Расход топлива, м <sup>3</sup> /ч	12	Счетчик газа	1	–	–

Таблица 9.2

Таблица основных технико-экономических показателей работы водогрейного котла

Наименование величин	Размерность	Нагрузка котла, %		
		20	60	90
Расход топлива	м <sup>3</sup> /ч			
Давление топлива перед горелкой	кПа			
Расход воды через котел	м <sup>3</sup> /ч			
Давление воды на входе в котел	кгс/см <sup>2</sup>			
Давление воды на выходе из котла	кгс/см <sup>2</sup>			
Температура воды на входе в котел	°С			
Температура воды на выходе из котла	°С			
Теплопроизводительность котла	Гкал/ч			
Температура воздуха	°С			
Давление воздуха перед горелкой	Па			
Температура уходящих газов	°С			
Содержание продуктов сгорания:				
О <sub>2</sub> ;	%			
СО <sub>2</sub> ;	%			
СО	ppm			
Коэффициент избытка воздуха	–			
Разрежение за котлом	Па			
Потери теплоты с уходящими газами	%			
Потери теплоты с химическим недожогом	%			
Потери теплоты в окружающую среду	%			
КПД котла брутто	%			
Часовой расход условного топлива	кг у. т./ч			
Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал теплоты	кг у. т./Гкал			

### Обработка результатов измерений

При составлении теплового баланса котельного агрегата используется упрощенный метод теплотехнических расчетов, предложенный М. Б. Равичем.

При помощи обобщенных теплотехнических характеристик газообразного топлива подсчитываются потери теплоты с уходящими

газами и от химической неполноты сгорания. Потери теплоты от механической неполноты сгорания при сжигании газообразного топлива считаются равными 0.

1. Коэффициент полезного действия (брутто) котлоагрегата при обратном балансе, %, определяется по формуле

$$\eta_{\text{бр}} = 100 - (q_2 + q_3 + q_5), \quad (9.1)$$

где  $q_2$  – потери теплоты с уходящими газами, %;

$q_3$  – потери теплоты от химической неполноты сгорания, %;

$q_5$  – потери теплоты в окружающую среду, %.

2. Потери теплоты с уходящими газами, %:

$$q_2 = (k\alpha_{\text{yx}} + C) \left( t_{\text{yx}} - \frac{\alpha_{\text{yx}}}{\alpha_{\text{yx}} + b} t_x \right) A_t \cdot 10^{-2}, \quad (9.2)$$

где  $k$ ,  $C$ ,  $b$  – коэффициенты, зависящие от вида топлива:  $k = 3,5$ ;  $C = 0,45$ ;  $b = 0,13$  – для жидкого топлива;  $k = 3,52$ ;  $C = 0,63$ ;  $b = 0,18$  – для газообразного топлива;

$t_{\text{yx}}$  – температура уходящих газов, °С;

$t_x$  – температура холодного воздуха, °С;

$A_t$  – коэффициент изменения теплоемкости дымовых газов, определяемый по выражению

$$A_t = 1 + 0,013 \left( \frac{t_{\text{yx}} - 150}{100} \right); \quad (9.3)$$

$\alpha_{\text{yx}}$  – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах, определяемый по результатам газового анализа и рассчитываемый по формуле

$$\alpha_{\text{yx}} = \frac{N_2}{N_2 - 3,76(O_2 - 0,5CO)}, \quad (9.4)$$

где  $N_2$  – содержание азота в продуктах сгорания ( $N_2 = 100 - RO_2 - O_2 - CO$ ).

3. Потери теплоты от химической неполноты сгорания, %, для жидкого и газообразного топлива:

$$q_3 = 3,32 \text{ CO} (\alpha_{yx} - 0,05); \quad (9.5)$$

где CO – содержание оксида углерода, определяемое в результате теплотехнических испытаний, %.

#### 4. Потери теплоты в окружающую среду, %.

С увеличением нагрузки котлоагрегата абсолютная величина потерь теплоты от наружного охлаждения возрастает. Однако абсолютное увеличение потерь теплоты происходит непропорционально росту нагрузки котлоагрегата, поэтому относительные потери теплоты в окружающую среду с ростом нагрузки уменьшаются.

При нагрузках, отличающихся от номинальной, потери теплоты в окружающую среду подсчитываются по формуле

$$q_5 = q_5^{\text{ном}} \frac{Q^{\text{ном}}}{Q}, \quad (9.6)$$

где  $q_5^{\text{ном}}$  – потери теплоты в окружающую среду при номинальной теплопроизводительности котла;

$Q^{\text{ном}}$ ,  $Q$  – теплопроизводительность котла: номинальная и во время проведения испытаний, ккал/ч (кВт).

#### 5. Часовой расход условного топлива:

$$B_{\text{ч}}^{\text{усл}} = B_{\text{ч}} \frac{Q_{\text{н}}^{\text{p}}}{7000}, \quad (9.7)$$

где  $B_{\text{ч}}$  – часовой расход натурального топлива;

$Q_{\text{н}}^{\text{p}}$  – теплота сгорания топлива, ккал/кг (ккал/м<sup>3</sup>).

6. Удельный расход условного топлива на 1 Гкал теплоты, кг у. т./Гкал, определяется по формуле

$$b_{\text{усл}} = \frac{B_{\text{ч}}^{\text{усл}}}{Q}. \quad (9.8)$$

Построить зависимости КПД от  $q_2$  и  $q_3$  и зависимость  $q_2$  от теплопроизводительности котла.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Основные сведения о режимно-наладочных испытаниях водогрейных котлов.
3. Методика измерения и замеры технологических и теплотехнических параметров водогрейных котлов.
4. Режимная карта водогрейного котла с расчетными параметрами.
5. Вывод.

## Контрольные вопросы

1. Виды эксплуатационных испытаний котельных агрегатов.
2. Порядок проведения режимно-наладочных работ.
3. Приборы для проведения теплотехнических испытаний.
4. Что собой представляет и для чего служит режимная карта котла?
5. Основные параметры режимной карты водогрейного котла.
6. Охарактеризуйте зависимость химической неполноты сгорания, КПД и потерь теплоты с уходящими в окружающую среду газами от теплопроизводительности водогрейного котла.

## Лабораторная работа № 10

### РЕЖИМНО-НАЛАДОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

**Цель работы:** изучить порядок проведения режимно-наладочных испытаний парового котла, ознакомиться с методикой расчета технологических и теплотехнических параметров и составить режимную карту парового котла.

#### Основные сведения

Характеристика и виды эксплуатационных испытаний, основные этапы режимно-наладочных испытаний и порядок расчета показателей котельных агрегатов приведены в лабораторной работе № 9 «Режимно-наладочные испытания водогрейных котлов».

Основными параметрами парового котла являются: паропроизводительность котла, давление пара в барабане котла, температура питательной воды, величина продувки и т. д.

Режимная карта парового котла на газообразном топливе включает: расход топлива; давление газа и воздуха перед горелками; содержание за котлом  $RO_2$  и  $O_2$ ; температуру уходящих газов; разрежение в топке и за котлом; коэффициент избытка воздуха.

Если имеется экономайзер, то содержание  $RO_2$  и  $O_2$ , температура уходящих газов, разрежение и коэффициент избытка воздуха приводятся также для экономайзера.

Для котлов на жидком топливе, оснащенных горелками с паромеханическими форсунками, указывается давление пара на форсунку горелки.

Как и для водогрейного котла, указанные показатели соответствуют различной тепловой мощности котла, %.

#### Методика выполнения работы

Ознакомиться с оборудованием паровой котельной установки и его технической характеристикой. Составить схему замеров (рис.).

При помощи средств измерений, указанных в табл. 10.1, провести теплотехнические испытания (3–5 опытов для каждой нагрузки). Подготовить форму режимной карты водогрейного котла (табл. 10.2) для записи результатов испытаний и расчетов.

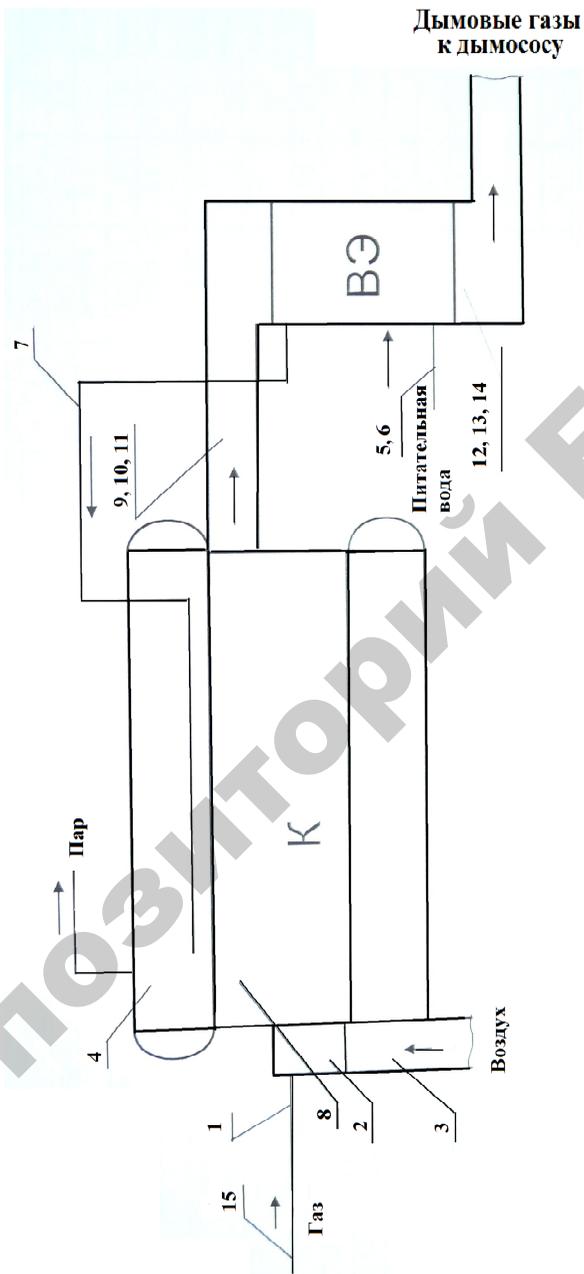


Рис. Схема размещения точек замеров при теплотехнических испытаниях парового котлоагрегата согласно спецификации измерений

Таблица 10.1

Спецификация измерений при теплотехнических испытаниях парового котла

Наименование измерений	Место измерения (поз. на схеме)	Применяемые приборы	Класс точности	Цена деления	Верхний предел
Давление газа на горелке, кПа	1	Манометр	1,5	2,0	100
Давление воздуха на горелке, кПа	2	Манометр	2,5	5,0	100
Температура дутьевого воздуха, °С	3	Газоанализатор Testo	–	0,1	–
Давление пара в барабане котла, МПа	4	Манометр	1,5	0,02	2,5
Давление питательной воды, МПа	5	Манометр	1,5	0,1	2,5
Температура питательной воды перед экономайзером, °С	6	Термометр	–	2,0	200
Температура питательной воды перед котлом, °С	7	Термометр	–	2,0	200
Разрежение в топке, $10^2$ , Па	8	Тягонапоромер	2,5	0,05	От –30 до +30
Разрежение за котлом, Па	9	Газоанализатор Testo	–	1,0	–
Температура газов за котлом, °С	10	Газоанализатор Testo	–	0,1	–
Анализ уходящих газов за котлом, %	11	Газоанализатор Testo	–	0,1	–
Разрежение за экономайзером, Па	12	Газоанализатор	–	1	–
Температура уходящих газов, °С	13	Газоанализатор Testo	–	0,1	–
Анализ уходящих газов за экономайзером, %	14	Газоанализатор Testo	–	0,1	–
Расход газа, $\text{нм}^3$	15	Счетчик газа	–	0,1	–

Таблица 10.2

Таблица основных технико-экономических показателей работы парового котла

Наименование величин	Размерность	Нагрузка котла, %		
		40	60	100
Давление топлива перед горелкой	кПа			
Температура газа	°С			
Давление пара в котле	кгс/см <sup>2</sup>			
Температура питательной воды	°С			
Энтальпия питательной воды	ккал/кг			
Температура воздуха, поступающего в топку	°С			
Теплопроизводительность котла	Гкал/ч			
Паропроизводительность котла	кг/ч			
Давление воздуха перед горелкой	кПа			
Температура уходящих газов	°С			
Содержание продуктов сгорания:				
O <sub>2</sub> ;	%			
CO <sub>2</sub> ;	%			
CO	ppm			
Коэффициент избытка воздуха	–			
Разрежение в топке	Па			
Потери теплоты с уходящими газами	%			
Потери теплоты с химическим недожогом	%			
Потери теплоты в окружающую среду	%			
КПД котла брутто	%			
Расход топлива	м <sup>3</sup> /ч			
Теплота сгорания топлива	ккал/м <sup>3</sup>			
Часовой расход условного топлива	кг у. т./ч			
Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал теплоты	кг у. т./Гкал			

### Обработка результатов измерений

При составлении теплового баланса котельного агрегата используется упрощенный метод теплотехнических расчетов, предложенный М. Б. Равичем.

При помощи обобщенных теплотехнических характеристик газообразного топлива подсчитываются потери теплоты с уходящими газами и от химической неполноты сгорания. Потери теплоты от механической неполноты сгорания при сжигании газообразного топлива считаются равными 0.

Методика обработки результатов измерений изложена в лабораторной работе № 9.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Основные сведения о режимно-наладочных испытаниях паровых котлов.
3. Методика измерения и замеры технологических и теплотехнических параметров паровых котлов.
4. Режимная карта парового котла с расчетными параметрами.
5. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Виды эксплуатационных испытаний котельных агрегатов.
2. Порядок проведения режимно-наладочных работ.
3. Приборы для проведения теплотехнических испытаний.
4. Что собой представляет и для чего служит режимная карта котла?
5. Основные параметры режимной карты парового котла.
6. Охарактеризуйте зависимость химической неполноты сгорания, КПД и потерь теплоты с уходящими в окружающую среду газами от теплопроизводительности парового котла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная*

1. Брюханов О. Н. Газифицированные котельные агрегаты : учебник для студ. сред. спец. учеб. заведений, обуч. по спец. 2915 «Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения» / О. Н. Брюханов, В. А. Кузнецов. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 390 с.
2. Брюханов, О. Н. Основы эксплуатации оборудования и систем газоснабжения : учебник для студ. сред. спец. учеб. заведений / О. Н. Брюханов, А. И. Плужников. – М. : ИНФРА-М, 2015. – 256 с.
3. Коротинский, В. А. Энергосберегающие технологии в АПК : учеб.-метод. пособие для студ. УВО по группе спец. 74 06 Агроинженерия и спец. 1-74 80 06 Электротехнологии и энергооборудование в сельском хозяйстве / В. А. Коротинский. – Минск : БГАТУ, 2014. – 212 с.
4. Правила промышленной безопасности в области газоснабжения Республики Беларусь. – Минск : ГАЗ-ИНСТИТУТ, 2016. – 175 с.

### *Дополнительная*

5. Соколов, Б. А. Котельные установки и их эксплуатация : учебник для учреждений НПО / Б. А. Соколов. – М. : Академия, 2007. – 432 с.
6. Теплоснабжение и безопасная эксплуатация тепловых энергоустановок в вопросах и ответах : учеб. пособие. – 3-е изд. – М. : МИЭЭ, 2009. – 96 с.

### *Нормативные правовые акты*

7. Об утверждении Правил пользования тепловой энергией : постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 19.01.2006 № 9 [Электронный ресурс]. – URL: <http://pravo.by/>. – Дата обращения: 20.12.2017.
10. ТКП 45-4.03-267–2012. Газораспределение и газопотребление. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2012-12-01. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. – 97 с.
8. ТКП 458–2012. Правила технической эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей. – Введ. 2013-03-01. – Минск : Министерство энергетики Республики Беларусь, 2013. – 91 с.
9. ТКП 474–2013. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Введ. 2013-04-15. – Минск : Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 2013. – 57 с.

Учебное издание

**Гаркуша** Карина Эдуардовна,  
**Ожелевский** Александр Васильевич

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

Лабораторный практикум

Ответственный за выпуск *В. А. Коротинский*  
Редактор *Д. А. Значёнок*  
Корректор *Д. А. Значёнок*  
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*  
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 16.10.2018. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,27. Тираж 50 экз. Заказ 508.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/359 от 09.06.2014.  
№ 2/151 от 11.06.2014.  
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.