



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

# **ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к контрольным работам по одноименному курсу  
для студентов специальности 1-43 01 05  
«Промышленная теплоэнергетика»  
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2007

УДК 621.1.002.56:08(075.8)  
ББК 31.32я73  
Т34

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 5 от 28.03.2006 г.)*

Авторы-составители: *С. Е. Селеня, Н. А. Вальченко*

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

**Теплотехнические** измерения и основы автоматического регулирования : метод. указания к контрол. работам по одноим. курсу для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» заоч. формы обучения / авт.-сост. С. Е. Селеня, Н. А. Вальченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 25 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Мб RAM ; свободное место на HDD 16 Мб ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-571-7.

Приведены контрольные задания по курсу «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования», а также необходимый теоретический материал.

Для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» заочной формы обучения.

УДК 621.1.002.56:08(075.8)  
ББК 31.32я73

ISBN 978-985-420-571-7

© Селеня С. Е., Вальченко Н. А., составление, 2007  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2007

## **Введение**

Целью данной контрольной работы по курсу «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования» является:

1. Проверка знаний теоретических основ курса «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования».

2. Закрепление теоретических знаний путем решения задач и выполнения практического задания.

Контрольная работа состоит из трех частей:

1. Краткие рефераты по двум теоретическим вопросам курса «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования» (каждый на 2–3 страницы тетрадных листов). Темы рефератов выдаются персонально каждому студенту преподавателем.

2. Решение четырех задач по курсу «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования». Примеры решения задач приведены в литературе [1], [2], [7].

3. Выполнение практического задания по курсу «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования». Теоретические основы для выполнения практического задания изложены в разделе 1 данного издания.

### **Практическое задание по курсу «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования»**

Для закрепления теоретических знаний по курсу «Теплотехнические измерения и основы автоматического регулирования» студентам-заочникам предлагается выполнить данное практическое задание.

Тема практического задания: «Автоматизация и теплотехнический контроль на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) и центральных тепловых пунктах (ЦТП)».

Числовые данные и схемы для выполнения практического задания студенты-заочники получают у преподавателя.

#### **1. Автоматизация и теплотехнический контроль на индивидуальных тепловых пунктах и центральных тепловых пунктах**

1. Средства автоматизации и контроля должны обеспечивать работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала (с пребыванием персонала не более 50 % рабочего времени).

2. Автоматизация тепловых пунктов (ИТП и ЦТП) закрытых и открытых систем теплоснабжения должна обеспечивать:

- поддержание заданной температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения;

- регулирование подачи теплоты (теплового потока) в системы отопления в зависимости от изменения параметров наружного воздуха с целью поддержания заданной температуры воздуха в отапливаемых помещениях;

- ограничение максимального расхода воды из тепловой сети на тепловой пункт путем прикрытия клапана регулятора расхода теплоты на отопление закрытых систем теплоснабжения для отдельных жилых и общественных зданий и микрорайонов с максимальным тепловым потоком на вентиляцию менее 15 % от максимального теплового потока на отопление. Либо путем прикрытия клапана регулятора температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения в тепловых пунктах открытых систем теплоснабжения и закрытых систем теплоснабжения промышленных зданий, а также жилых микрорайонов и общественных зданий с максимальным тепловым потоком на вентиляцию более 15 % от максимального теплового потока на отопление. Допускается ограничение максимального расхода воды из тепловой сети на тепловой пункт путем установки специального регулятора с клапаном на подающем трубопроводе;

- поддержание требуемого перепада давлений воды в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей на вводе в ЦТП или ИТП при превышении фактического перепада давлений над требуемым более чем на 200 кПа;

- минимальное заданное давление в обратном трубопроводе системы отопления при возможном его снижении;

- поддержание требуемого перепада давлений воды в подающем и обратном трубопроводах систем отопления в закрытых системах теплоснабжения при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление, а также при установке корректирующих насосов, которые характеризуются изменением напора в пределах более 20 % (в диапазоне рабочих расходов), на перемычке между обратным и подающим трубопроводами тепловой сети;

- включение и выключение подпиточных устройств для поддержания статического давления в системах теплоснабжения при их независимом присоединении;

– защиту систем потребления теплоты от повышения давления или температуры воды в трубопроводах этих систем при возможности превышения допустимых параметров;

– поддержание заданного давления воды в системе горячего водоснабжения;

– включение и выключение корректирующих насосов;

– блокировку включения резервного насоса при отключении рабочего;

– защиту системы отопления от опорожнения;

– прекращение подачи воды в бак-аккумулятор или в расширительный бак при независимом присоединении систем отопления по достижении верхнего уровня воды в баке и включение подпиточных устройств при достижении нижнего уровня;

– включение и выключение дренажных насосов в подземных тепловых пунктах по заданным уровням воды в дренажной приемке.

3. Для учета расхода тепловых потоков и расхода воды потребителями должны предусматриваться приборы учета тепловой энергии в соответствии с «Правилами учета отпуска тепловой энергии».

3.1. При независимом присоединении систем отопления к тепловым сетям следует предусматривать горячеводный водомер на трубопроводе для подпитки систем.

3.2. Расходомеры и водомеры должны рассчитываться на максимальный часовой расход теплоносителя и подбираться так, чтобы стандартное значение верхнего предела измерения было ближайшим по отношению к значению максимального часового расхода.

3.3. В тепловых пунктах с расходом теплоты более 2,3 МВт, как правило, должны предусматриваться следующие контрольно-измерительные приборы:

а) манометры самопишущие – после запорной арматуры на вводе в тепловой пункт подающего и обратного трубопроводов водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов;

б) манометры показывающие:

– до запорной арматуры на вводе в тепловой пункт трубопроводов водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов;

– на распределительном и сборном коллекторах водяных тепловых сетей и паропроводов;

– после узла смешения;

– на паропроводах до и после редуцирующих клапанов;

– на трубопроводах водяных тепловых сетей и паропроводах до и после регуляторов давления;

– на подающих трубопроводах после запорной арматуры на каждом ответвлении к системам потребления теплоты и на обратных трубопроводах до запорной арматуры – из систем потребления теплоты;

в) штуцера для манометров – до и после грязевиков, фильтров и водомеров;

г) термометры самопишущие – после запорной арматуры на вводе в тепловой пункт трубопроводов водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов;

д) термометры показывающие:

– на распределительном и сборном коллекторах водяных тепловых сетей и паропроводов;

– на трубопроводах водяных тепловых сетей после узла смешения;

– на подающих и обратных трубопроводах из каждой системы потребления теплоты по ходу воды перед задвижкой.

3.4. В тепловых пунктах с расходом теплоты до 2,3 МВт должны предусматриваться:

а) манометры показывающие:

– после запорной арматуры на вводе в тепловой пункт трубопроводов водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов;

– после узла смешения;

– до и после регуляторов давления на трубопроводах водяных тепловых сетей и паропроводов;

– на паропроводах до и после редуционных клапанов;

– на подающих трубопроводах после запорной арматуры на каждом ответвлении к системам потребления теплоты и на обратных трубопроводах до запорной арматуры – из систем потребления теплоты;

б) штуцера для манометров:

– до запорной арматуры на вводе в тепловой пункт трубопроводов водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов;

– до и после грязевиков, фильтров и водомеров;

в) термометры показывающие:

– после запорной арматуры на вводе в тепловой пункт трубопроводов водяных тепловых сетей, паропроводов и конденсатопроводов;

– на трубопроводах водяных тепловых сетей после узла смешения;

– на обратных трубопроводах из систем потребления теплоты по ходу воды перед задвижками.

3.5. Показывающие манометры и термометры должны предусматриваться на входе и выходе трубопроводов греющей и нагреваемой воды для каждой ступени водоподогревателей систем горячего водоснабжения и отопления.

3.6. Показывающие манометры должны предусматриваться перед всасывающими и после нагнетательных патрубков насосов.

3.7. В случаях, когда приборы учета расхода теплоты комплектуются самопишущими или показывающими расходомерами, термометрами и манометрами, предусматривать дублирующие контрольно-измерительные приборы не следует.

## **2. Основные характеристики, необходимые для выбора оборудования системы автоматического регулирования центральных тепловых пунктов**

1. Тепловые нагрузки отдельно на ГВС, на систему вентиляции и на центральное отопление (если центральное отопление предусмотрено пофасадное, то тепловую нагрузку по каждому фасаду).

2. Реальные температуры в подающем и обратном трубопроводах магистрали с учетом изменений в зависимости от сезона и погодных условий.

3. Реальные расходы теплоносителя с учетом тех же факторов.

4. Давления в подающем и обратном трубопроводах магистрали.

5. Давления в подающем и обратном трубопроводах на отопление квартала, необходимые для обеспечения нормального функционирования отопления.

6. Диаметры участков трубопроводов, на которых планируется установка регулирующей арматуры.

7. Динамические характеристики (скорость изменения температур при мгновенном изменении разбора горячей воды и изменении количества поданного теплоносителя).

### **2.1. Выбор элементов гидравлической схемы**

#### **2.1.1. Методика подбора регулирующих клапанов для горячей воды по условной пропускной способности**

*Условная пропускная способность* – это номинальное значение расхода жидкости плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  пропускаемого регулирующим органом (клапаном или гидроэлеватором) при перепаде (потерях) давления на нем  $0,1 \text{ МПа}$  – для клапанов или  $0,14 \text{ МПа}$  – для гидроэлеваторов при полностью открытом затворе.

*Выбор регулирующего клапана* определяется рабочей средой, пропускной способностью и рабочим давлением. Клапаны предназначены для регулирования потоков жидкостей с температурой до  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Подбор клапана по диаметру производится по коэффициенту  $K_v$ . Значение  $K_v$  определяется по формуле:

$$K_v = \frac{Q \cdot 36}{\sqrt{\Delta P}}, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – падение давления в клапане, кПа;  $Q$  – расход, л/с.

Коэффициент расхода  $K_v$  определяется как расход через клапан в м<sup>3</sup>/ч при падении давления в 1 атм.

Значение  $\Delta P$  на клапане будет равно действительному перепаду давления, уменьшенному на величину падения давления на фильтрах, грязевиках, теплосчетчиках, теплообменниках и т. п.

Подбор клапанов осуществляется по его условной пропускной способности из условия:

$$K_v \leq K_{vu}, \quad (2)$$

где  $K_v$  – пропускная способность клапана при заданном (проектном) перепаде (потерях) давления на нем, м<sup>3</sup>/ч;  $K_{vu}$  – паспортная условная пропускная способность клапана, м<sup>3</sup>/ч.

В зависимости от регулируемой среды при определенном перепаде давления пропускная способность определяется по формуле:

$$K_v = 1,1 \cdot \frac{G_{\max}}{1000} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P_{\min}}}, \quad (3)$$

где  $G_{\max}$  – максимальный весовой расход среды, кг/ч;  $\rho$  – плотность (объемный вес) среды при заданной температуре, г/см<sup>3</sup>;  $\Delta P_{\min}$  – перепад (потери давления) на клапане при максимальном расходе среды, кгс/см<sup>2</sup>.

Во избежание парообразования за клапаном, при регулировании потока жидкости,  $\Delta P_{\min}$  выбирается из условия:

$$\Delta P_{\min} \leq P_1 - P_{\text{кав}}, \quad (4)$$

где  $P_1$  – давление среды до клапана;  $P_{\text{кав}}$  – давление кавитации регулируемой среды при заданной температуре.

После определения пропускной способности  $K_v$  подбирают соответствующий клапан исходя из условной пропускной способности  $K_{vu}$ .

Регулирующий клапан горячего водоснабжения следует выбирать особенно тщательно, этот клапан сильно влияет на регулировку и стабильность температуры горячей воды. Регулирующий клапан для системы горячего водоснабжения рассчитывается по имеющемуся перепаду давления, первичной и вторичной температурам и вероятности расхода горячей воды. Следует использовать первичные перепады давления для условий летней эксплуатации, а также первичную температуру в подающем трубопроводе.

Расход через регулирующий клапан рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{P}{4,18 \cdot \Delta T}, \quad (5)$$

где  $Q$  – расход, л /с;  $P$  – мощность системы, кВт;  $\Delta T$  – разность температур подача/отвод.

Следует иметь в виду, что завышение  $K_{vu}$  приводит к ухудшению параметров регулирования, а занижение влечет за собой повышение потерь давления в сети.

Важным параметром клапана являются его характеристики и диапазон применимости. Предпочтительными являются характеристики логарифмического типа.

Логарифмические характеристики клапана компенсируют нелинейность управляемого объекта, в результате получается желаемый контур линейного контроля, позволяющий достичь устойчивой настройки управляющих параметров. Стандартный логарифмический клапан имеет диапазон применимости 20 : 1 или 30 : 1, чего в большинстве случаев достаточно для систем теплоснабжения, особенно если клапан правильно подобран по размеру, а перепад давления стабилен. В системах с большими различиями в нагрузке, таких как системы горячего водоснабжения (ГВС), требуется более широкий диапазон применимости. Диапазон применимости определяется как отношение максимального расхода через клапан к минимальному управляемому расходу через него.

Величина диапазона применимости зависит от управляемости и фактора превышения номинального размера. Плохая управляемость и клапаны завышенного размера нарушают возможность управления во всем диапазоне изменения коэффициента расхода. На малых нагрузках управление будет похоже на операцию «включено – выключено», приводящую к плохому управлению и неизбежному изнашиванию исполнительных механизмов и клапанов.

Лучший диапазон применимости можно получить путем использования клапанов с логарифмически-модифицированными характеристиками и с диапазонами более чем 50 : 1.

Клапаны с диапазоном применимости до 300 : 1 можно использовать для систем с очень большими различиями в максимальной и минимальной нагрузке, или когда реальную нагрузку нельзя определить заранее.

Таким образом, для устойчивого регулирования потреблением тепловой энергии в тепловых узлах необходимо использовать предназначенную для этих целей арматуру с соответствующими характеристиками. Применение арматуры на базе шаровых кранов, заслонок, игольчатых запорных устройств приводит к псевдорегулированию, излишним затратам в эксплуатации и может повлечь за собой серьезные аварийные ситуации.

*Электроприводы регулирующих клапанов* должны обеспечить плавность и точность хода плунжера клапана, необходимую временную характеристику, иметь возможность ограничения хода при помощи механических выключателей и муфту предельного усилия для предотвращения поломки исполнительного механизма.

Питание привода может осуществляться от сети 220–380 В или 24 В как переменного, так и постоянного тока.

Хорошие возможности в регулировании сложных объектов открываются при использовании приводов с аналоговым управлением. Тогда по одному каналу управления, согласно заложенной программе, возможно управление несколькими регулирующими клапанами.

*Электронные блоки управления* должны обеспечивать возможность управления любым типом приводов, иметь достаточное количество информационных каналов по температуре, давлению и т. д. и необходимым количеством каналов управления.

*Процессорная часть электронного блока* должна обеспечить ПИД-закон регулирования, суточную, недельную и месячную программы управления с возможностью почасового снижения или увеличения графика потребления тепла.

Электронный блок должен иметь информационный канал связи для включения в АСУ.

### **2.1.2. Выбор насосов**

Для подбора насоса необходимо знать его требуемую подачу и рабочее давление. Требуемая подача насоса  $V_{\text{нас}}$ , м<sup>3</sup>/ч определяется тепловой нагрузкой  $\sum Q$ , Вт в сети и перепадом температуры воды:

$$V_{\text{нас}} = \frac{3,6 \cdot \sum Q}{C_p \cdot (t_1 - t_2) \cdot \rho}, \quad (6)$$

где  $C_p = 4,19$  – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг · К);  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>; 3,6 – коэффициент перевода Вт в кДж/ч;  $t_1$  – температура в подающем трубопроводе;  $t_2$  – температура в обратном трубопроводе.

Давление, создаваемое насосом, должно быть достаточным для преодоления всех сопротивлений в системе.

Характеристика насоса задается производителем. Характеристика тепловой сети подчиняется закону:

$$H_{\text{рас}} = S \cdot V^2, \quad (7)$$

где  $S$  – сопротивление сети при расходе теплоносителя 1 м<sup>3</sup>/с, (м/(м<sup>6</sup>/ч<sup>2</sup>)), зависит от абсолютной шероховатости, диаметра и длины трубопровода, плотности теплоносителя.

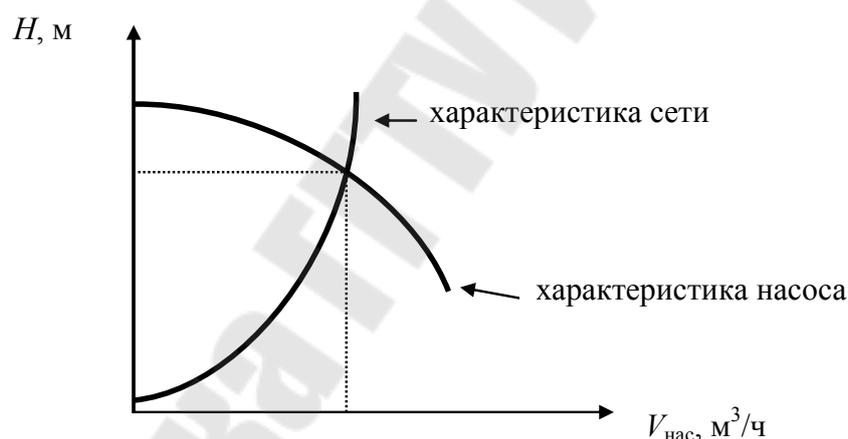


Рис. 1. Нахождение рабочей точки насоса

В системе водяного отопления устанавливают два циркуляционных насоса, т. е. один насос всегда является резервным.

Циркуляционные насосы необходимо выбирать таким образом, чтобы предварительно заданная расчетная точка работы насоса на линии рабочих характеристик соответствовала бы максимальному числу оборотов двигателя в точке наибольшего КПД или была максимально близка к ней.

Если заданная рабочая точка отопительной установки находится между двумя линиями рабочих характеристик насоса, рекомендуется выбирать меньшую характеристику. Связанное с этим уменьшение

подачи не оказывает никакого значительного влияния на эффективность работы отопительной системы, а напротив, имеет ряд преимуществ, таких как уменьшение уровня шума, более низкие закупочные цены и улучшение показателей экономичности.

Выбор насосов можно также проводить при помощи компьютерных программ производителей с оптимизацией по техническим параметрам, стоимости оборудования и эксплуатационным затратам или пользоваться специальными таблицами.

### **2.1.3. Выбор приборов учета тепловой энергии и количества теплоносителя**

**Методы измерения тепловой энергии.** Для измерения тепловой энергии, передаваемой водой или паром, используют специальные приборы – теплосчетчики. Теплосчетчик работает по следующему алгоритму:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} G \cdot \rho \cdot (h_1 - h_2) \cdot dT, \quad (8)$$

где  $Q$  – измеряемая тепловая энергия;  $G$  – объемный расход теплоносителя в трубопроводе (прямом или обратном), на котором установлен расходомер, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho$  – плотность теплоносителя в трубопроводе (прямом или обратном), на котором установлен расходомер, кг/м<sup>3</sup>;  $h_1, h_2$  – энтальпия теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах;  $T_1$  и  $T_2$  – время начала и конца измерения.

Из алгоритма работы теплосчетчика следует, что для измерения тепловой энергии необходимо:

1) измерить расход теплоносителя. Расход теплоносителя измеряется специальными приборами – расходомерами, работающими на том или ином физическом принципе;

2) измерить температуру теплоносителя в прямом и в обратном трубопроводах для определения энтальпии теплоносителя;

3) произвести расчет потребляемой тепловой энергии за определенный промежуток времени.

**Выбор технологической схемы учета тепловой энергии.** Согласно действующим нормативным документам схема учета тепловой энергии открытая (двухпоточная) или закрытая (однопоточная) определяется по суммарной тепловой нагрузке:

$$Q_H = Q_{от} + Q_{гвс}, \quad \text{Гкал/ч.} \quad (9)$$

Если  $Q_n > 2,0$  Гкал/ч, то используется открытая (двухпоточная) схема учета тепловой энергии. Если  $Q_n > 2,0$  Гкал/ч, то используется закрытая (однопоточная) схема учета тепловой энергии.

**Выбор теплосчетчика. Выбор типа расходомеров и технические требования к их установке.** Решение проблемы приборного обеспечения ИТП и ЦТП начинается с выбора номенклатуры приборов учета. При этом необходимо для каждого конкретного случая выбрать оптимальный метод измерения и тип прибора.

Согласно алгоритму работы теплосчетчика он состоит из трех основных частей:

- 1) расходомера для измерения количества теплоносителя;
- 2) термометров сопротивления для измерения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах;

- 3) тепловычислителя – электронное устройство, отображающее и обрабатывающее информацию от первичных преобразователей расхода и датчиков температуры с целью расчета потребленной абонентом тепловой энергии. Как правило, все последние модели тепловычислителей разработаны на базе микропроцессорной техники и по основной задаче практически не отличаются между собой. Это выражается в расширении функций вычислителей, таких как:

- возможность работы с любым первичным преобразователем расхода;

- возможность работы в открытых и закрытых схемах теплоучета;

- многоконтурность (возможность обеспечивать измерение одновременно по нескольким потребителям независимо от схемы измерения);

- возможность работы одновременно с разными первичными преобразователями расхода, включенными в разные измерительные контуры. Например, одновременно измерять контур ЦО с ультразвуковым или электромагнитным преобразователем расхода и контур ГВС с крыльчатым или турбинным преобразователем расхода;

- возможность передачи данных по каналам связи;

- обширный архив основных данных (не менее 31 дня);

- дополнительные каналы для подключения счетчиков холодной и горячей воды.

В зависимости от конструкции и диапазона измерения теплосчетчик оборудуется тем или иным видом расходомера. Выбирая метод измерения расхода и  $D_y$  (условный диаметр расходомера, от которого зависит его рабочий диапазон), необходимо учесть:

- ограничение длин прямолинейных участков для установки приборов;
- минимальное измеряемое значение скорости течения теплоносителя;
- требуемый динамический диапазон измерения;
- ограничения по возможным потерям давления в системе;
- вероятность наличия в воде предметов и различных примесей;
- вероятность наличия в воде примесей, ведущих к образованию пленки или осадка внутренней поверхности трубы.

При выборе расходомеров мы руководствуемся следующими правилами:

1. Выбираем расходомер по его физическому принципу работы. В зависимости от физических закономерностей, используемых при измерении расхода, расходомеры бывают:

- электромагнитные;
- ультразвуковые;
- переменного перепада;
- вихревые;
- постоянного перепада;
- тахометрические;
- на принципе доплеровского эффекта;
- меточные и т. д.

2. Для выбора расходомера теплосчетчика необходимо знать максимальный и минимальный расход теплоносителя. По суммарной тепловой нагрузке  $Q_H$  определим максимальный расход теплоносителя:

$$G_{\max} = \frac{1000 \cdot Q_H}{t_{\text{под}} - t_{\text{обр}}}, \text{ Т/ч.} \quad (10)$$

По нагрузке  $Q_{\text{ГВС}}$  определим минимальный расход теплоносителя:

$$G_{\min} = \frac{1000 \cdot Q_{\text{ГВС}}}{t_{\text{под}} - t_{\text{обр}}}, \text{ Т/ч.} \quad (11)$$

При выборе теплосчетчика должны быть соблюдены условия:

- $G_{\min \text{ тепл}} \leq G_{\min}$  и  $G_{\max \text{ тепл}} > G_H$

(на практике  $G_H = (15 - 70 \%) G_{\max \text{ тепл}}$  .

- $D_y$  теплосчетчика  $\leq D_y$  отопления (для выполнения первого условия допускается занижать  $D_y$  теплосчетчика до трех типоразмеров).

- Выбираем приборы известных производителей (желательно национальных), хорошо зарекомендовавших себя на рынке Республики Беларусь.

Выбираем такой расходомер, который при минимальных затратах обеспечивал наилучшее качество измерения. Не для каждой среды годится тот или иной тип расходомера.

Например, ультразвуковые расходомеры не измеряют газообразные среды, но хорошо работают на любых жидких средах и на трубопроводах больших диаметров ( $> 200$  мм). Электромагнитные расходомеры не измеряют газовые среды и жидкости на основе нефтепродуктов, но они хорошо измеряют расход воды и на трубопроводах малых диаметров ( $< 200$  мм). Для измерения газообразных сред используются вихревые расходомеры и расходомеры переменного перепада.

3. Подбираем условный проход  $d_y$  расходомера. При этом руководствуемся следующими закономерностями:

- У любого расходомера есть минимальный и максимальный расход, который он может измерить. Этот параметр зависит от физических закономерностей, используемых при измерении расхода и  $d_y$  расходомера. Рабочий диапазон расходомера должен быть между минимальным и максимальным расходом.

- Рабочий диапазон расходомера должен быть в пределах 30–70 % от максимального расхода.

На практике при выборе  $d_y$  расходомера, согласно пункту 2,  $d_y$  расходомера получается меньше  $d_y$  трубопровода, на котором он устанавливается. В данном случае для установки расходомера на трубопроводе делается специальная вставка (заужение) из трубы, внутренний диаметр которой равен  $d_y$  расходомера. Длина трубы вставки до расходомера и после расходомера должна соответствовать паспортным данным расходомера.

Независимо от типа расходомера, выбранного проектировщиком, основным критерием выбора является номинальный расход воды через расходомер и рабочий расход воды отопительной сети.

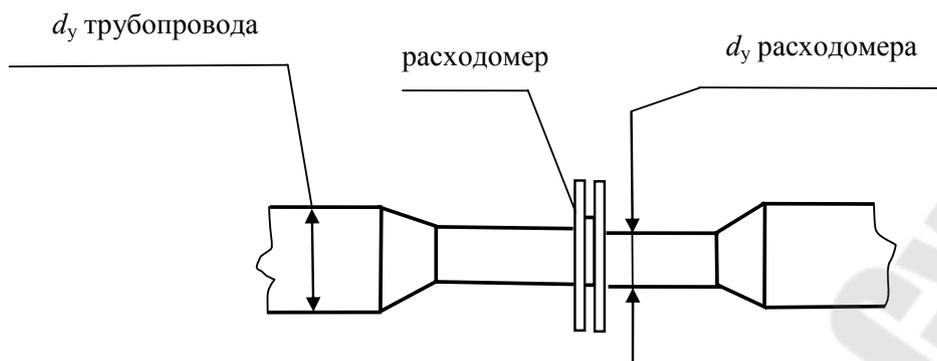


Рис. 2. Специальная вставка для установки расходомера

Для учета расхода воды на вводах в здания или ответвлениях сети, подводящих воду потребителям, устанавливают счетчики расхода воды.

Применяют счетчики воды следующих типов:

- крыльчатые;
- турбинные;
- электромагнитные;
- ультразвуковые;
- вихревые.

**Крыльчатые и турбинные расходомеры.** Крыльчатые и турбинные счетчики горячей и холодной воды известны с прошлого столетия. Изготавливаются несколькими десятками фирм Европы и СНГ, наиболее проработаны и являются самыми массовыми по применению.

Достоинства:

- широкий диапазон измерения;
- простота ремонта и обслуживания;
- высокая надежность;
- не критичны к химическому составу воды.

Недостатки:

- чувствительны к крупнозернистым загрязнениям (для крыльчатых более 0,5 мм, для турбинных – более 5 мм).

**Индукционные расходомеры (электромагнитные).** Принцип работы – движение проводящей среды в электромагнитном поле. Имеет широкое применение в Прибалтике, Дании, Скандинавских странах, СНГ, ограничено в Германии и других европейских странах.

Достоинства:

- отсутствие подвижных частей в потоке жидкости.

Недостатки:

- чувствительны к химическому составу воды (при низком содержании магнетитов сигнал слабый до пропадания, при повышенном

содержании показание прибора завышается до 20–40 % в положительную сторону);

- зависимость от скорости потока в зоне измерения (стабильность работы обеспечивается в диапазоне скоростей 9–12 м/сек).

**Ультразвуковые расходомеры.** Принцип основан на изменении скорости прохождения ультразвукового сигнала через движущуюся жидкость. В последние годы имеют широкое распространение в европейских странах.

Достоинства:

- не критичны к химическому составу воды;
- отсутствие подвижных частей в потоке жидкости;
- широкий диапазон измерения.

Недостатки:

- изменяет свои показания во время эксплуатации из-за потери прозрачности зеркал и изменения резонансных характеристик излучателя из-за отложений в трубопроводе;

- неустойчивость характеристик при изменении температуры теплоносителя.

**Вихревые расходомеры.** Принцип работы – считывание параметров вихревых дорожек Кармана, образующихся после тела обтекания. Существуют следующие типы вихревых расходомеров:

- с подвижным элементом и электромагнитным считыванием его вибраций;

- с ультразвуковым считыванием пульсаций дорожки (без подвижного элемента);

- с конденсаторным считыванием (с подвижным элементом).

Этот метод измерения реже применяется в коммунальном хозяйстве.

Достоинства:

- не критичны к химическому составу воды, могут использоваться для измерения расхода любых жидких сред;

- высокая точность.

Недостатки:

- высокая стоимость приборов.

**Датчики температуры.** В качестве датчиков температуры в составе теплосчетчиков используются термопреобразователи сопротивления. Они изготавливаются на базе медных или платиновых сплавов. Термосопротивления медные (ТСМ) отличаются нестабильностью показаний во времени, имеют большой процент отбраковки при повтор-

ной Госповерке. Термосопротивления платиновые (ТСП) имеют стабильные характеристики и межповерочный интервал 2 года. Как правило, отбраковка после вторичной поверки составляет не более 3 %.

### **3. Выбор гидравлической схемы и типа регулятора**

При выборе гидравлической схемы регулирования для системы отопления необходимо четко представлять, что и какими средствами мы хотим получить в результате. Важным условием выбора являются финансовые возможности заказчика (потребителя).

При выборе конкретной гидравлической схемы учитываются следующие условия:

- применение независимой схемы системы отопления (СО) как наилучшего варианта СО;
- применение трехходовых клапанов для обеспечения широкого диапазона регулирования;
- применение дублирования насосов подмеса для повышения надежности СО;
- применение двухступенчатой системы ГВС для снижения расхода прямой сетевой воды;
- выбор места установки регулирующих клапанов для облегчения режима работы клапана с учетом схем, давлений,  $\Delta P$  допустимых на клапан;
- применение рециркуляционного трубопровода ГВС;
- необходимость пофасадного регулирования.

В качестве регулятора температуры используется регулятор температуры РТМ-03 «Струмень» производства НПП «Гран-Система-С».

При выборе конкретного исполнения регулятора температуры РТМ-03 «Струмень» учитывалась возможность выполнения следующих функций:

- наличие ПИД-регулятора для обеспечения динамических и статических параметров регулирования;
- возможность управления циркуляционными и подмешивающими насосами;
- коррекция температурного графика по температуре воздуха в помещении;
- ограничение температуры в обратном трубопроводе;
- защита здания от замораживания;
- защита трубопроводов от замораживания; защита бойлера от перегрева;

- защита насосов;
- формирование недельного и дневного графика работы теплоузла (ночное и праздничное снижение температуры);
- автоматическое включение и отключение отопления в зависимости от внешних условий;
- управление спаренными насосами;
- управление системой подпитки вторичного контура;
- контроль работы датчиков температуры и аварийные режимы работы в случае нарушения работоспособности датчиков;
- ручное управление (опробование) исполнительными механизмами;
- возможность съема информации через последовательный порт и дистанционное управление;
- санкционированный доступ к параметрам настройки регулятора;
- возможность установки приоритета работы ГВС.

#### **4. Пример выполнения задания**

Для подачи тепловой энергии теплоснабжающей организации необходимо на центральный тепловой пункт установить приборы КИП и А, а также средства автоматизации. На ИТП установлены теплообменники на отопление и ГВС (см. полученные у преподавателя схемы).

Заданы:

1. Нагрузка на ГВС (Гкал/ч).
2. Нагрузка на отопление (Гкал/ч).
3.  $D_y$  – трубопроводов (мм).
4. Температурный график 150/70 °С.
5.  $P_{\text{под}} = 0,65$  Мпа.
6.  $P_{\text{обр}} = 0,35$  Мпа.

Необходимо:

1. Выбрать и «установить» на ЦТП:
  - 1.1. Запорную арматуру (задвижки, краны).
  - 1.2. Приборы теплотехнического контроля (манометры, термометры).
  - 1.3. Приборы учета тепловой энергии (теплосчетчик).
  - 1.4. Регулятор тепловой энергии на ГВС.
  - 1.5. Регулятор тепловой энергии на отопление.
2. Обосновать выбор оборудования и составить его спецификацию.
3. Начертить гидравлическую схему ЦТП с установкой выбранного оборудования.

Составляем схему теплового пункта с установкой:

- запорной арматуры (задвижки, краны);
- приборов теплотехнического контроля (манометры, термометры);
- прибора учета тепловой энергии (теплосчетчик);
- регулятора тепловой энергии на ГВС;
- регулятора тепловой энергии на отопление (см. полученные у преподавателя схемы).

Определяемся со схемой учета тепловой энергии. Согласно действующим нормативным документам схема учета тепловой энергии открытая (двухпоточная) или закрытая (однопоточная) определяется по суммарной тепловой нагрузке:

$$Q_H = Q_{\text{отоп}} + Q_{\text{ГВС}}, \text{ Гкал/ч.} \quad (12)$$

Если  $Q_H > 2,0$  Гкал/ч, то используется открытая (двухпоточная) схема учета тепловой энергии. Если  $Q_H \leq 2,0$  Гкал/ч, то используется закрытая (однопоточная) схема учета тепловой энергии. Для выбора теплосчетчика необходимо знать максимальный и минимальный расход теплоносителя. По суммарной тепловой нагрузке  $Q_H$  определим максимальный расход теплоносителя:

$$G_{\text{max}} = \frac{1000 \cdot Q_H}{t_{\text{под}} - t_{\text{обр}}}, \text{ Т/ч,} \quad (13)$$

где среднестатистическое  $t_{\text{под}} = 90$  °С;  $t_{\text{обр}} = 60$  °С.

По нагрузке  $Q_{\text{ГВС}}$  определим минимальный расход теплоносителя:

$$G_{\text{min}} = \frac{1000 \cdot Q_{\text{ГВС}}}{t_{\text{под}} - t_{\text{обр}}}, \text{ Т/ч,} \quad (14)$$

где среднестатистическое  $t_{\text{под}} = 65$  °С;  $t_{\text{обр}} = 30$  °С.

При выборе теплосчетчика должны быть соблюдены следующие условия:

1.  $G_{\text{min тепл}} \leq G_{\text{min}}$  и  $G_{\text{max тепл}} > G_H$  (на практике  $G_H = 15-70$  % от  $G_{\text{max тепл}}$ ).

2.  $D_{\text{у теплосчетчика}} \leq D_{\text{у отоп}}$  (для выполнения п. 1 допускается занижать  $D_{\text{у теплосчетчика}}$  до трех типоразмеров).

3. Выбираем приборы известных производителей (желательно национальных), хорошо зарекомендовавших себя на рынке Республики Беларусь.

Исходя из вышесказанного, выбираем:

1. Производитель – ООО «АРВАС», г. Минск.
2. Тип прибора – ТЭМ-05М (ТЭМ-05М-2).
3.  $D_{у \text{ теплосчетчика}} = \dots$  мм.

**Выбор регулятора тепловой энергии.** Без регуляторов тепловой энергии невозможна экономически выгодная работа ИТП и ЦТП. Регулируется два вида тепловой энергии:  $Q_{\text{отоп}}$  и  $Q_{\text{ГВС}}$ . Известные производители выпускают многоканальные (для регулирования одним регулятором нескольких видов тепловой энергии) регуляторы. При выборе регулятора должны быть соблюдены условия:

1.  $D_{у}$  регулирующего клапана на ГВС  $\leq D_{у \text{ ГВС}}$  (обычно  $D_{у \text{ клап}} = D_{у \text{ ГВС}}$ ).
2.  $D_{у}$  регулирующего клапана на отопление  $D_{у \text{ отоп}} \leq D_{у \text{ ГВС}}$  (обычно  $D_{у \text{ клап}}$  на порядок меньше  $D_{у \text{ отоп}}$ ).

Подбор клапанов осуществляется по его условной пропускной способности из условия:

$$Kv \leq Kv_y, \quad (15)$$

где  $Kv$  – пропускная способность клапана при заданном (проектном) перепаде (потерях) давления на нем,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $Kv_y$  – паспортная условная пропускная способность клапана,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Таким образом выбираем:

1. Производитель – ООО «Грант-система», г. Минск.
2. Тип регулятора – РТМ-03.
3.  $D_{у}$  регулирующего клапана на ГВС = ... мм.
4.  $D_{у}$  регулирующего клапана на отопление = ... мм.

**Выбор теплообменников.** Теплообменник выбирается исходя из тепловых нагрузок на отопление и горячее водоснабжение.

Расчет теплообменников как для систем отопления, так и для горячего водоснабжения производится при наиболее низкой температуре воды в подающем трубопроводе тепловой сети, а именно в нижней точке излома температурного графика.

В соответствии с этим расчет отопительных теплообменников производится по тепловой нагрузке отопления  $Q_{от}^{изл}$ , Вт, для температуры наружного воздуха  $t_{н}^{изл}$  в точке излома температурного графика:

$$Q_{от}^{изл} = \frac{Q_{от} \cdot (t_{вн} - t_{н}^{изл})}{(t_{вн} - t_{но})}, \quad (16)$$

где  $t_{вн}$  – внутренняя температура отапливаемых помещений, °С;  $t_{но}$  – расчетная температура наружного воздуха, °С;  $Q_{от}^{изл}$  – тепловая нагрузка отопления при  $t_{н}^{изл}$ , Вт.

Формулы для определения расходов сетевой и вторичной воды на отопление  $G_{с.от}$  и  $G_{от}$ , кг/с, имеют следующий вид:

$$G_{с.от} = \frac{Q_{от}^{изл}}{C_p \cdot (t_{с.под}^{изл} - t_{с.обр}^{изл})}; \quad (17)$$

$$G_{от} = \frac{Q_{от}^{изл}}{C_p \cdot (t_{от.под}^{изл} - t_{от.обр}^{изл})}, \quad (18)$$

где  $C_p$  – теплоемкость сетевой и местной воды ( $C_p = 4190$  Дж/(кг · С);  $t_{с.под}^{изл}$ ,  $t_{с.обр}^{изл}$  – температуры воды до и после отопительного теплообменника при  $t_{н}^{изл}$ , °С.

Температуру сетевой воды после отопительного теплообменника при расчетных условиях обычно принимают:

$$t_{с.обр}^{изл} = t_{от.обр}^{изл} + (2 - 4), \text{ °С}. \quad (19)$$

В связи со снижением параметров сетевой воды относительно отопительного графика рекомендуется принимать:

$$t_{с.обр}^{изл} = t_{от.обр}^{изл} + (2 - 4), \text{ °С}. \quad (20)$$

При выборе оборудования пользуются каталогами фирм-производителей.

## 5. Контрольные вопросы

1. Для чего служат и что обеспечивают средства автоматизации тепловых пунктов?
2. Установка контрольно-измерительных приборов в тепловых пунктах.

3. Зависимая схема подсоединения тепловых узлов.
4. Независимая схема присоединения тепловых узлов.
5. Для чего необходимо осуществлять подмес теплоносителя на тепловых узлах?
6. Как осуществляется регулирование подачи тепловой энергии на отопление?
7. Как осуществляется регулирование подачи тепловой энергии на ГВС?
8. Работа схем присоединения систем горячего водоснабжения и отопления к тепловым сетям.
9. Методы измерения тепловой энергии.
10. Выбор расходомеров и технические требования к их установкам.

## Литература

1. Мурин, Г. А. Теплотехнические измерения / Г. А. Мурин. – Москва : Энергия, 1979. – 322 с.
2. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. – Москва : Энергия, 1982. – 412 с.
3. Фарзани, Н. Г. Технологические измерения и приборы / Н. Г. Фарзани, Л. В. Ильясов, А. Ю. Азим Заде. – Москва : Высш. шк., 1989. – 344 с.
4. Майнуйлов, П. Н. Теплотехнические измерения и автоматизация тепловых процессов / П. Н. Майнуйлов. – Москва : Энергия, 1966. – 280 с.
5. Майнуйлов, П. Н. Автоматизация тепловых процессов на электростанциях / П. Н. Майнуйлов. – Москва : Госэнергоиздат, 1961. – 268 с.
6. Файерштейн, Л. М. Справочник по автоматизации котельных / Л. М. Файерштейн, Л. С. Этинген, Г. Г. Гохбойм. – Москва : Энергия, 1978. – 344 с.
7. Колесов, Л. В. Основы автоматики / Л. В. Колесов. – Москва : Колос, 1978. – 348 с.
8. СНиП II-35-76 (1998). Котельные установки. Раздел 15 «Автоматизация» – 6 с.
9. СНиП 2.04.0.7-86 (2000). Тепловые сети. Раздел 12 «Электроснабжение и системы управления». – 4 с.
10. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. Раздел 8 «Автоматизация и контроль». – 6 с.
11. СП 41-104-2000. Проектирование автономных источников теплоснабжения. Раздел 11 «Автоматизация». – 6 с.
12. ГОСТ 8.563.2-97. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств. – 86 с.
13. ГСССД 6-78. Вода. Динамическая вязкость в диапазоне давлений 0...100 МПа и температуры 0...800 °С.
14. ГСССД 98-86. Вода. Удельный объем и энтальпия при температуре 0...800 °С и давлении 0,001...1000 МПа.

## Содержание

Введение .....	3
1. Автоматизация и теплотехнический контроль на индивидуальных тепловых пунктах и центральных тепловых пунктах .....	3
2. Основные характеристики, необходимые для выбора оборудования системы автоматического регулирования центральных тепловых пунктов .....	7
2.1. Выбор элементов гидравлической схемы.....	7
2.1.1. Методика подбора регулирующих клапанов для горячей воды по условной пропускной способности ....	7
2.1.2. Выбор насосов .....	10
2.1.3. Выбор приборов учета тепловой энергии и количества теплоносителя .....	12
3. Выбор гидравлической схемы и типа регулятора .....	18
4. Пример выполнения задания .....	19
5. Контрольные вопросы .....	22
Литература.....	24

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

# **ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**Методические указания  
к контрольным работам по одноименному курсу  
для студентов специальности 1-43 01 05  
«Промышленная теплоэнергетика»  
заочной формы обучения**

**Электронный аналог печатного издания**

Автор-составитель: **Селеня Сергей Евстафьевич**  
**Вальченко Николай Адамович**

Редактор *Н. Г. Мансурова*  
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 23.05.07.

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

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,58.

Изд. № 48.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Издательский центр учреждения образования  
«Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.