



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

Т. С. Юфанова, К. В. Харьков

**ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

ПРАКТИКУМ

**по одноименной дисциплине
для студентов специальностей
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2014

УДК 658.264(075.8)
ББК 31.38я73
Ю93

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 4 от 24.12.2013 г.)*

Рецензенты: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *О. Г. Широков*

Юфанова, Т. С.

Ю93 Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий : практикум по
одном. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная тепло-
энергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»
днев. и заоч. форм обучения / Т. С. Юфанова, К. В. Харьков. – Гомель : ГГТУ им. П.
О. Сухого, 2014. – 36 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb
RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Ре-
жим доступа: <http://alis.gstu.by/StartEK/>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-231-1.

Предназначен для использования в качестве пособия к выполнению лабораторных работ по
дисциплине «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий» с указанием
справочного материала, литературы и других нормативных материалов.

Для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07
«Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 658.264(075.8)
ББК 31.38я73**

ISBN 978-985-535-231-1

© Юфанова Т. С., Харьков К. В., 2014
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем практикуме приведены семь лабораторных работ, охватывающих материал основных разделов курса «Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий», работы выполняются на современном лабораторном оборудовании.

В приложениях к лабораторным работам приведена литература и справочный материал, необходимость в котором может возникнуть в процессе выполнения работ.

Руководство включает следующие темы лабораторных работ: исследование температурного поля двухтрубных водяных сетей при подземной прокладке; исследование температурных удлинений трубопроводов; определение потерь тепловой энергии при ее транспортировании; определение теплоотдачи отопительных приборов; исследование автоматизированной системы управления теплоснабжением; экспериментальное исследование эффективности системы теплоснабжения; повышение эффективности работы системы отопления введением дополнительной ветви с циркуляционным насосом.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

ДВУХТРУБНЫХ ВОДЯНЫХ СЕТЕЙ

ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКЕ

Цель работы: приобрести навыки расчета температурного поля в грунте вокруг двухтрубного бесканального теплопровода. Закрепить полученный опыт построением двухмерных графиков распределения температуры в грунте.

Теоретические сведения

В настоящее время широкое распространение получили предварительно изолированные трубы. Технология бесканальной прокладки индустриально изолированных трубопроводов теплоснабжения является прогрессивным способом экономии энергоресурсов.

Трубопроводы, предварительно изолированные пенополиуретаном (ППУ) в гидрозащитной трубе-оболочке, представляют собой жесткую конструкцию «Труба в трубе», состоящую из стальной трубы (рабочей), изолирующего слоя из жесткого пенополиуретана и внешней защитной трубы-оболочки из полиэтилена (ПЭ) низкого давления для подземной прокладки или спирально-навивной трубы-оболочки из тонколистовой оцинкованной стали – для надземной прокладки [3].

Составные части изолированного в заводских условиях ПИ-фасонного изделия представлены на рис. 1.1.

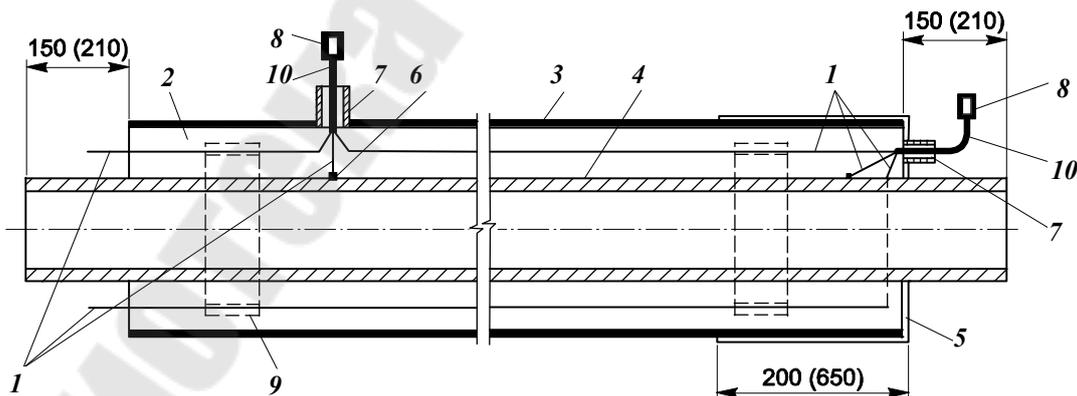


Рис. 1.1. Схема конструкции ПИ-трубы:

- 1 – сигнальные проводники; 2 – изоляция из ППУ; 3 – полиэтиленовая оболочка;
- 4 – стальная труба или деталь; 5 – металлическая заглушка изоляции;
- 6 – соединение сигнального проводника со стальной трубой;
- 7 – узел вывода кабеля; 8 – герметичное муфтовое соединение;
- 9 – центрирующая опора; 10 – вывод кабеля

При производстве предварительно изолированных труб и фасонных частей применяются стальные трубы с марками стали: 10, 20, 17ГС1, 17Г1СУ; для трубопроводов горячего водоснабжения применяются стальные водогазопроводные оцинкованные трубы по ГОСТ 3262 или стальные электросварные трубы по ГОСТ 10705 с оцинкованием по ТУ-14-162-55–99.

Минимальное заглубление s (рис. 1.2) при бесканальной прокладке принимается от 0,5 до 0,7 м от поверхности грунта. Максимальное заглубление трубопровода принимается из условия прочности его конструкции. Как правило, заглубление трубопровода не должно превышать 3 м.

Расстояние в свету между оболочками теплоизоляции труб a (рис. 1.2) принимается в зависимости от диаметра трубы-оболочки D :

$$D = 110\text{--}125 \text{ мм}, a = 150 \text{ мм};$$

$$D = 250\text{--}800 \text{ мм}, a = 250 \text{ мм};$$

$$D > 900 \text{ мм}, a = 350 \text{ мм}.$$

При прокладке тепловых сетей бесканальным способом трубы укладываются на песчаное основание толщиной не менее 100 мм с песчаной обсыпкой не менее 100 мм.

В многотрубных трубопроводах все термические сопротивления включены параллельно друг другу и последовательно к цепи канал–грунт.

При двухтрубной бесканальной прокладке в результате тепловых потерь вокруг теплопроводов в грунте образуются температурные поля, которые, воздействуя друг на друга, способствуют уменьшению теплотерь каждой трубы в отдельности. Снижение тепловых потерь будет тем больше, чем выше температура грунта вокруг соседнего трубопровода. Следовательно, влияние соседнего трубопровода равноценно увеличению термического сопротивления для рассматриваемой трубы.

Расчет теплотерь многотрубного бесканального теплопровода может быть проведен по методу, разработанному Е. П. Шубиным.

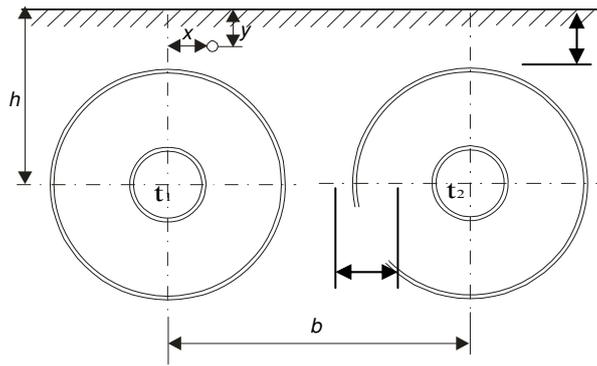


Рис. 1.2. Схема двухтрубного бесканального теплопровода

Взаимное влияние соседних труб учитывается условным дополнительным сопротивлением R_0 . При двухтрубном теплопроводе условное дополнительное сопротивление [1]:

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{гр}}} \ln \sqrt{1 + (2h/b)^2}, \quad (1.1)$$

где $\lambda_{\text{гр}}$ – теплопроводность грунта, Вт/(м · К) [2]; h – глубина заложения трубопровода, м; b – расстояние по горизонтали между осями труб, м.

Теплопотери двухтрубного бесканального теплопровода рассчитываются по следующим формулам [1]:

– теплопотери первой трубы

$$q_1 = \frac{(\tau_1 - t_0)R_2 - (\tau_2 - t_0)R_0}{R_1R_2 - R_0^2}; \quad (1.2)$$

– теплопотери второй трубы

$$q_2 = \frac{(\tau_2 - t_0)R_1 - (\tau_1 - t_0)R_0}{R_1R_2 - R_0^2}, \quad (1.3)$$

где τ_1 и τ_2 – температуры теплоносителя в первой и второй трубах, °С; t_0 – естественная температура грунта на глубине оси теплопровода [2]; R_1 – суммарное термическое сопротивление изоляции первой трубы и грунта, м · °С/Вт:

$$R_1 = R_{\text{и1}} + R_{\text{гр}}, \quad (1.4)$$

где $R_{\text{и1}}$ – сопротивление слоя изоляции первой трубы, м · °С/Вт; $R_{\text{гр}}$ – сопротивление грунта, м · °С/Вт; R_2 – суммарное термическое сопротивление изоляции второй трубы и грунта, м · °С/Вт:

$$R_2 = R_{и2} + R_{гр}, \quad (1.5)$$

где $R_{и2}$ – сопротивление слоя изоляции второй трубы, $\text{м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Сопротивление грунта, $\text{м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [1]:

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left(\frac{2h}{d_n} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_n^2} - 1} \right), \quad (1.6)$$

где d_n – наружный диаметр трубопровода, м (Приложение 1).

Сопротивление слоя изоляции, $\text{м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [1]:

$$R_{и} = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (1.7)$$

где λ – теплопроводность слоя изоляции, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$ (табл. 1.1); d_1, d_2 – внутренний и наружный диаметры слоя изоляции, м (Приложение 1).

Таблица 1.1

Характеристики изоляции

Теплоизолятор	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{мК}$	Срок реальной эксплуатации, лет	Рабочая температура, °C
ППУ жесткий	35–80	0,019–0,035	30–50	–70–+150
Пенополистирол	15–35	0,043–0,064	15	–80–+80
Минеральная вата	15–150	0,052–0,058	5–7	–40–+250
Пенобетон	250–400	0,145–0,160	10	–30–+120
Вспененный полиэтилен	20–40	0,038–0,042	до 30	–80–+100
Вспененный каучук	62–86	0,033–0,042	20–30	–70–+150

Температурное поле в грунте вокруг двухтрубного бесканального теплопровода, °C [1]:

$$t = t_0 + \frac{q_1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}}, \quad (1.8)$$

где t – температура любой точки грунта, удаленной на расстоянии x от вертикальной плоскости, проходящей через ось трубы с более высокой температурой теплоносителя (в двухтрубных водяных сетях – через ось подающей трубы), и на расстоянии y от поверхности грунта, °C (рис. 1.2).

Порядок выполнения работы

В качестве исходных данных задаются:

- диаметры трубопроводов $d_{н1}$, $d_{н2}$;
- температуры теплоносителя τ_1 и τ_2 .

Необходимо:

1. Рассчитать условное дополнительное сопротивление по формуле (1).
2. Определить теплотери для подающего и обратного трубопроводов по формулам (2) и (3), соответственно.
3. Задаться десятью значениями x при $y = \text{const}$ и по формуле (1.8) найти температуры для этих точек. Аналогично проделать и в случае $x = \text{const}$. По полученным значениям построить графики распределения температурного поля в грунте (по горизонтали и по вертикали). Результаты расчета занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты расчета

Точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x, \text{ м}$ ($y = \text{const}$)										
$t, \text{ }^\circ\text{C}$										
$y, \text{ м}$ ($x = \text{const}$)										
$t, \text{ }^\circ\text{C}$										

Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УДЛИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель работы: освоить методику расчета температурных удлинений трубопроводов. Сопоставить два способа их определения: расчетный и графический. Изучить виды компенсаторов при бесканальной прокладке предварительно изолированных труб.

Теоретические сведения

Компенсация температурных деформаций стальных трубопроводов имеет исключительно важное значение при транспорте теплоносителя. При нагреве в стенке трубы возникают большие разрушающие напряжения. Если отсутствует компенсация температурных напряжений, то это может привести к разрушению трубопровода.

По принципу действия компенсаторы разделяются на радиальные и осевые. Осевые компенсаторы (сальниковые, линзовые) допускают перемещения трубопровода только по направлению оси. Радиальные компенсаторы позволяют перемещение трубопровода и в осевом, и в радиальном направлениях. При радиальной компенсации термическая деформация трубопровода воспринимается за счет изгиба эластичных вставок или отдельных участков самого трубопровода.

Расчетный участок – это прямолинейный отрезок трубопровода, границами которого служат естественные компенсаторы или неподвижные опоры (при необходимости).

При нагревании трубопроводы тепловых сетей находятся под давлением грунта, которое мешает их тепловому удлинению. Проектируемую теплосеть можно разбить на обособленные участки так, что температурные удлинения каждого участка не окажут влияния на соседние. Это дает возможность делать расчет отдельно взятого участка независимо от работы рядом расположенных.

Максимальная длина L_m – это максимально возможное расстояние между условно неподвижной опорой и компенсатором, при котором осевое напряжение в стальной трубе не превышает допускаемого ($\sigma_{\text{доп}}$).

Допускаемое осевое напряжение $\sigma_{\text{доп}}$, МПа, трубопроводов:

- из низколегированных сталей 17Г1С, 17Г1СУ (ГОСТ 19281) – 170;
- из сталей Ст10, Ст20 (ГОСТ 1050) – 150;
- из сталей ВСт 3сп4-5 (ГОСТ 380) – 130.

**Максимальная длина
прямых участков трубопроводов теплосети
(на которых компенсация
температурных расширений не требуется)**

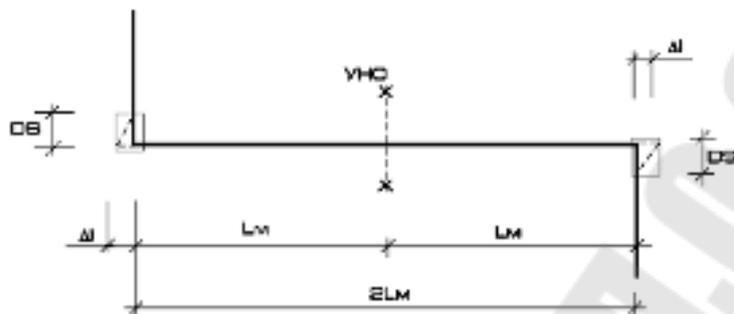


Рис. 2.1. Участок тепловой сети

Для обеспечения прочности трубопровода длина прямых отрезков не должна превышать $2L_M$, причем в центре прямого участка удлинение $\Delta l = 0$, и здесь возникает условная неподвижная опора, где трубопровод фиксируется, а на его свободных концах появляется удлинение Δl (рис. 2.1).

Температурное удлинение (Δl), м, участка трубопровода длиной L , м, засыпанного грунтом, определяется по формуле

$$\Delta l = \alpha(T - T_0)L - \frac{FL^2}{2E_c S}, \quad (2.1)$$

где α – коэффициент линейного расширения стальной трубы, $1/^\circ\text{C}$, для сталей 17Г1С, 17Г1СУ для диапазона температур:

– от 0 до 100°C – $1,2 \cdot 10^{-5}$;

– от 0 до 150°C – $1,37 \cdot 10^{-5}$;

для сталей Ст10, Ст20, ВСт 3сп 4-5 для диапазона температур:

– от 0 до 100°C – $1,18 \cdot 10^{-5}$;

– 0 до 150°C – $1,25 \cdot 10^{-5}$.

T – расчетная температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$; T_0 – температура наружного воздуха при монтаже трубопровода, $^\circ\text{C}$: минимальная температура наружного воздуха, при которой допускается осуществлять монтаж трубопроводов, 10°C ; F – сила трения между грунтом и трубой-оболочкой, Н/м (Приложение 1); E_c – модуль продольной упругости стальной трубы с учетом влияния температуры, $E_c = 0,204 \cdot 10^6$ Н/мм²; S – площадь поперечного сечения стенки, мм² (Приложение 1).

Компенсация температурных удлинений за счет естественных углов поворота

Компенсация температурных удлинений трубопроводов осуществляется за счет естественных изменений направления трассы с помощью углов поворота Г-образной, Z-образной и П-образной формы.

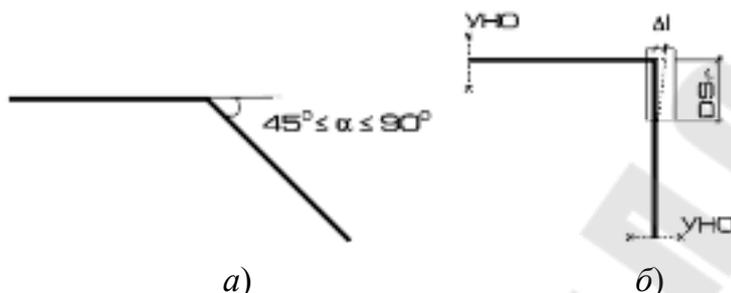


Рис. 2.2. Г-образный компенсатор:
а – с углом $< 90^\circ$; б – с углом 90°

Для самокомпенсации Г-образных участков трубопроводов тепловых сетей используются изменения направления под углом от 45° до 90° .

В случае необходимости можно использовать естественную компенсацию под углом менее 45° .

Длина плеча компенсации DS_Γ (рис. 2.2, а) Г-образной формы компенсации определяется по формуле или номограмме (Приложение 2), м:

$$DS_\Gamma = 1,2 \sqrt{\frac{1,5E_c}{\sigma_{\text{доп}}}} \sqrt{d \cdot \Delta l}, \quad (2.2)$$

где d – наружный диаметр стальной трубы, м.

Длина плеча компенсации DS_z , м, Z-образной формы (рис. 2.3) определяется по формуле или номограмме (Приложение 3), м:

$$DS_z = \sqrt{\frac{1,5E_c}{\sigma_{\text{доп}}}} \sqrt{d \cdot \sum \Delta l}, \quad (2.3)$$

где $\sum \Delta l$ – суммарное удлинение участков трубопроводов (Δl_1) и (Δl_2) при Z-образной форме компенсации, м, определяется по формуле

$$\sum \Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2, \quad (2.4)$$

где Δl_1 – температурное удлинение трубопровода, засыпанного грунтом, длиной l_1 , м; Δl_2 – температурное удлинение трубопровода, засыпанного грунтом, длиной l_2 , м.

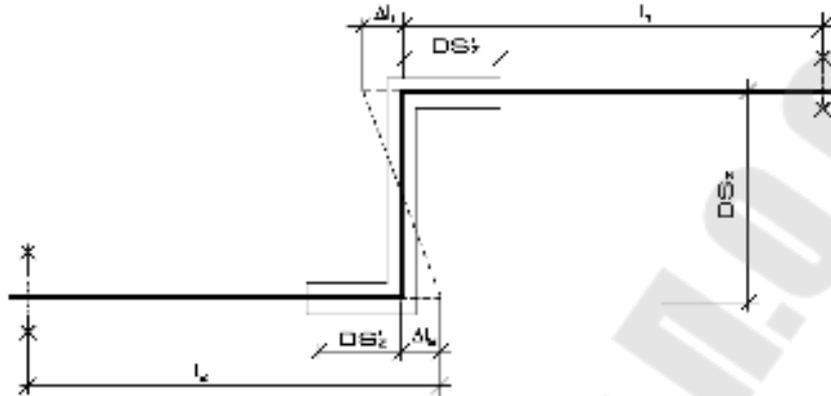


Рис. 2.3. Z-образный компенсатор

Длина плеча компенсации DS_z' , м, участков трубопроводов длиной l_1 и l_2 вычисляется по формуле

$$DS_z' = 0,1\sqrt{dDS_z}. \quad (2.5)$$

Длина плеча компенсации DS_{Π} , м (рис. 2.4), П-образной формы компенсации определяется по формуле или номограмме (2.3):

$$DS_{\Pi} = 0,7\sqrt{\frac{1,5 \cdot E_c}{\sigma_{\text{доп}}}} \sqrt{d \cdot \sum \Delta l}, \quad (2.6)$$

где $\sum \Delta l$ – суммарное удлинение участков трубопроводов (l_1) и (l_2) при П-образной форме компенсации, м, определяется по формуле (2.4).

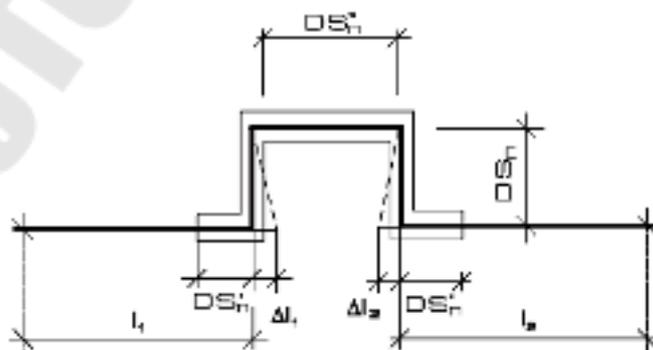


Рис. 2.4. П-образный компенсатор

Длина плеча компенсации DS_{Π}' , м, вычисляется по формуле

$$DS_{\Pi}' = 0,1\sqrt{dDS_{\Pi}}. \quad (2.7)$$

Длина полочки DS_{Π}'' равна двойной длине стандартного отвода.

В местах компенсаций температурных удлинений трубопроводов, засыпанных грунтом, за счет естественных углов поворота применяются амортизирующие прокладки. В качестве амортизирующих прокладок используются маты теплозвукоизоляционные из вспененного полиэтилена. Толщина матов должна быть не менее двойной величины расчетного теплового удлинения. Амортизирующие прокладки должны устанавливаться на $2/3$ длины плеча компенсации. Их высота должна превышать диаметр полиэтиленовой трубы-оболочки не менее чем на 100 мм.

При расчетном тепловом удлинении до 10 мм амортизирующие прокладки можно не устанавливать [3].

Порядок выполнения работы

По заданным расчетной длине L , м, и диаметру трубопровода d , мм, рассчитать (для Г-образного, Z-образного и П-образного компенсаторов):

1. Температурное удлинение участков трубопровода по формуле (2.1).
 2. Длины плеч компенсации по формулам (2.2), (2.3), (2.5)–(2.7), соответственно.
 3. Длины плеч компенсации, используя номограммы (Приложение 2, Приложение 3, Приложение 4), графическим методом и сравнить с рассчитанными по формулам.
- Определить размеры амортизирующих прокладок.

Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Цель работы: определение потерь тепловой энергии на аналогичных отрезках отопительного контура без тепловой изоляции и с ее применением при различных скоростях теплоносителя.

Теоретические сведения

Тепловые потери сети слагаются из двух частей:

- 1) теплотерь участков трубопровода, не имеющих арматуры и фасонных частей, – линейные теплотерии;
- 2) теплотерь фасонных частей, арматуры, опорных конструкций, фланцев и т. д. – местные теплотерии.

Линейные тепловые потерии трубопровода, Вт:

$$Q_{\text{л}} = ql, \quad (3.1)$$

где q – удельные тепловые потерии, Вт/м или ккал/(ч · м); l – длина теплопровода, м.

Тепловая изоляция является важнейшим конструктивным элементом всех звеньев систем централизованного теплоснабжения – теплогенерирующих, транспортных звеньев, установок теплового потребления. Снижая тепловые потерии и предотвращая выстывание теплоносителей, она формирует технико-экономическую эффективность, надежность и долговечность установок в целом и является основным средством экономии топливных ресурсов. В бесканальных прокладках теплопроводов тепловая изоляция выполняет также функции несущей конструкции. Для тепловой изоляции оборудования и трубопроводов применяют полносборные или комплектные конструкции заводского изготовления, а также трубы с тепловой изоляцией полной заводской готовности. Для трубопроводов тепловых сетей тепловую изоляцию необходимо предусматривать независимо от температуры теплоносителя и способа прокладки.

Порядок выполнения работы

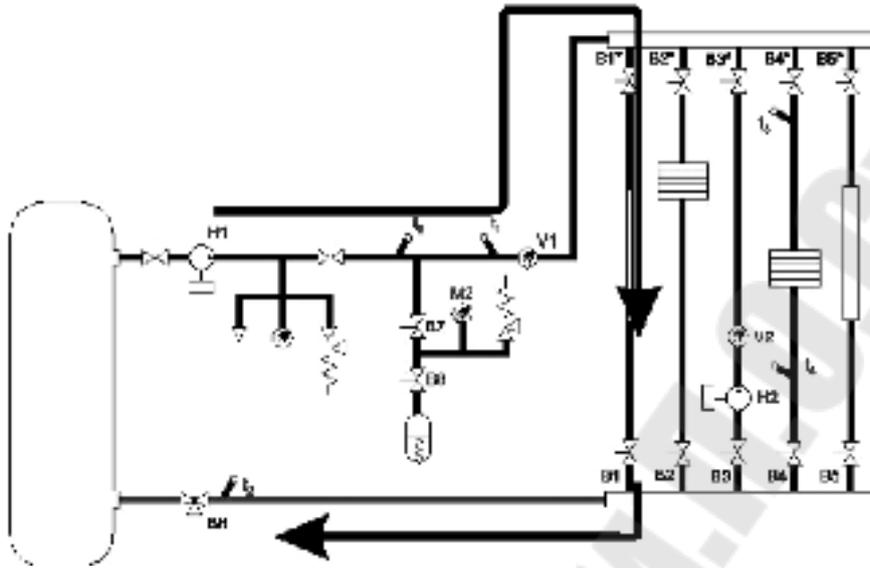


Рис. 3.1. Схема коммутации устройств системы теплоснабжения

Характеристики трубопровода

Материал: нержавеющая сталь марки AISI304; теплоотдача $Q = 120$ Вт; D (диаметр коллектора) = 1" (25 мм); толщина стенки коллектора 2,0 мм; рабочее давление 8 атм. (24,5 атм. max); давление при испытании 40 атм.; температура воды 110 °С max.

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равной I (перевести регулятор на корпусе насоса в положение I).
2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
3. Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние (рис. 3.1).
4. Открыть полностью вентиль В1 на распределителе, В2–В5 закрыть.
5. Перевести переключатель SA1 в положение «Внутр.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.
6. Установить требуемую величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла).
7. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10 °С, откройте вентили В1–В5 на распределителе. Включите котел на минимальной настройке температуры (нагревательный элемент не должен включаться) и дождитесь падения температуры.

8. Включить котел.
9. После достижения температуры теплоносителя требуемой величины, снять показания теплосчетчика $Q_{1н}$.
10. Снять данные по температуре на входе и выходе участка теплосети. Для смены режима индикации температур T_1 и T_2 переключить тумблер SA6 в соответствующее положение. Данные занести в таблицу.
11. Спустя фиксированный интервал времени снять показания теплосчетчика $Q_{1к}$. Расходованное тепло ΔQ найти как разность показаний теплосчетчика в начале и конце отрезка времени. Данные занести в таблицу.
12. Выключить котел.
13. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равной II (перевести регулятор на корпусе насоса в положение II).
14. Повторите пункты 8–12. Данные занести в таблицу.
15. Повторите пункты 8–12 для скорости работы циркуляционного насоса Н1 равной III. Данные занести в таблицу.
16. Открыть полностью вентиль В5 на распределителе, остальные вентили закрыть.
17. Повторите пункты 8–14 для участка с теплоизоляцией. Данные занести в таблицу.
18. Повторите пункты 8–16 при других величинах температуры теплоносителя на подаче. Данные занести в таблицу.
19. Выключить котел, выключить питание стенда.

Результаты измерений

Скорость насоса ..., температура котла $T_k = \dots$									
Участок теплосети	Температура	Время, мин						Тепловые потери, кДж	
		0	1	2	3	4	5		
Без теплоизоляции	T_1							Q_n	
	T_2							Q_k	
	ΔT							ΔQ	
С теплоизоляцией	T_1							Q_n	
	T_2							Q_k	
	ΔT							ΔQ	

По результатам измерений построить графики зависимости $\Delta Q = f(T_k)$ при различных скоростях работы циркуляционного насоса.

Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы: определение теплоотдачи стального и алюминиевого радиаторов при различных температурах теплоносителя.

Теоретические сведения

Отопление зданий обеспечивает тепловой комфорт для людей или выполнение технологических требований по параметрам внутреннего воздуха в зависимости от назначения помещения и установленного оборудования. В большинстве инженерных систем в качестве отопительных приборов применяются радиаторы отопления. Наиболее популярные – стальные, чугунные и алюминиевые радиаторы.

Радиатор – конвективно-радиационный отопительный прибор, состоящий из отдельных элементов – секций – с внутренними каналами, внутри которых циркулирует теплоноситель. Тепло от радиатора отводится излучением, конвекцией и теплопроводностью.

Достоинства *алюминиевых* секционных радиаторов отопления – легкость, что важно при транспортировке, хранении и монтаже, простота сборки прибора с различным числом секций, низкая инерционность при запуске системы отопления и регулировании теплового потока радиаторов; полная универсальность применения: автономные системы отопления (коттеджи), системы центрального отопления, многоквартирные дома. Рабочее давление до 16 атм.

Чугунные радиаторы отличаются значительной тепловой мощностью на единицу длины прибора и, соответственно, компактностью. Главное достоинство чугунных радиаторов – высокая коррозионная стойкость и длительный срок службы. Их большая масса обеспечивает им высокую теплоемкость и, соответственно, тепловую инерционность, позволяя сглаживать резкие изменения температуры в помещении; однако они плохо встраиваются в системы, оснащенные автоматикой. Чугунным радиаторам требуется периодическая покраска; кроме того, стенки внутренних каналов шершавые и пористые, что со временем приводит к образованию налета и падению теплоотдачи. Рабочее давление не более 6–8 атм.

Стальные радиаторы имеют хорошую теплоотдачу, небольшой вес и хорошо работают с автоматизированными системами управления. Слабое место этих радиаторов – сварочные швы; под действием большого давления или гидравлических ударов они постепенно ослабляются

или разрушаются, и прибор может выйти из строя. При отсутствии воды в системе развивается коррозия. Кроме того, стальные радиаторы обла- дают повышенным гидравлическим сопротивлением, что накладывает ограничения на их использование. Рабочее давление 6–9 атм.

Порядок выполнения работы

Тот же, что и в лабораторной работе № 3 (с. 14–16), за исключе- нием:

- п. 4. Открыть полностью вентиль В2 (рис. 3.1, с. 15);
- п. 16. Открыть полностью вентиль В4.

Результаты измерений заносятся в таблицу:

Результаты измерений

Скорость насоса ..., температура котла $T_k = \dots$									
Участок теплосети	Темпера- тура	Время, мин						Тепловые потери, кДж	
		0	1	2	3	4	5		
Стальной радиатор	T_1							Q_H	
	T_2							Q_K	
	ΔT							ΔQ	
Алюминиевый радиатор	T_1							Q_H	
	T_2							Q_K	
	ΔT							ΔQ	

По полученным результатам построить графики зависимости $\Delta Q = f(T_k)$ при различных скоростях работы циркуляционного насоса. Сделать выводы об эффективности работы отопительных приборов.

Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ

Цель работы: 1) исследование системы автоматизации теплоснабжения с поддержанием температуры теплоносителя в контуре; 2) исследование системы автоматизации теплоснабжения с поддержанием температуры в отапливаемом объеме.

Общие сведения

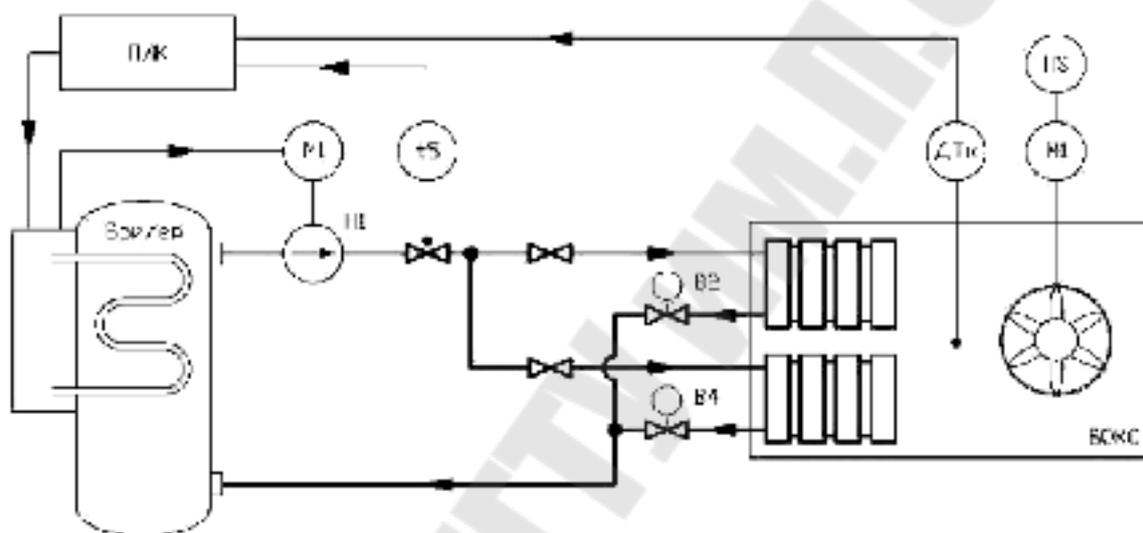


Рис. 5.1. Схема автоматизации системы теплоснабжения

Датчик t_5 (термосопотвление Pt500) измерения температуры теплоносителя на подаче (горячая вода с выхода котла).

Датчик ДТк (термосопротивление СТ 1-17) служит для измерения температуры в исследуемом объеме (боксе).

Датчик ДТн (термосопротивление СТ 1-17, на рис. 5.1 не показан) служит для измерения температуры окружающей среды (помещения, в котором установлен стенд).

Исполнительные механизмы системы автоматизации:

- 1) нагревательный элемент (ТЭН) электродкотла;
- 2) циркуляционный насос Н1 (встроен в котел).

В качестве системы управления выступает ПЛК Mitsubishi AL-2 14MR-D.

Перед проведением опытов необходимо измерить линейные размеры бокса (ширина, высота, длина) и рассчитать отапливаемый объем, m^3 .

В верхней части бокса установлен вытяжной вентилятор и регулятор скорости вращения. Номинальные параметры вентилятора приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Номинальные параметры вытяжного вентилятора

Тип	Напряжение, В	Мощность, Вт	Ток, А	Число лопастей	Скорость, мин ⁻¹	Поток, м ³ /ч
G12038HA2B G12038HA2S	200–240	21	0,14	5	2500 2900	132 136
G12038HA2B-7P G12038HA2S-7P		24		7	2400 2800	156 183

Коммутация устройств системы теплоснабжения приведена на рис. 3.1.

Порядок проведения работы

1. Исследование системы автоматизации теплоснабжения с поддержанием температуры теплоносителя в контуре

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равной II (перевести регулятор на корпусе насоса в положение II).

2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

3. Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние.

4. Открыть полностью вентиль В2, В4 на распределителе (см. рис. 3.1), остальные закрыть.

5. Перевести переключатель SA1 в положение «Внутр.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.

6. Установить требуемую величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла). Установившееся значение температуры теплоносителя на подаче контролируется по индикатору T1.

7. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10 °С, откройте вентили В1–В5 на распределителе.

8. Снять показания теплосчетчика Q1.

9. Включить котел (переключатель на передней панели котла).

10. По мере нагрева теплоносителя снять зависимость роста температуры во времени (рис. 5.2). Значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1.

11. Диаграмма на рис. 5.2 поясняет последовательность работы системы и снятие экспериментальных данных. Участок t_0 – t_1 соответствует табл. 5.2, участок t_1 – t_2 – табл. 5.3.

12. На обозначенных отрезках времени снять показания теплосчетчика Q1. Расходованное тепло найти как приращение показаний теплосчетчика в течение отрезка времени. Данные занести в табл. 5.2 и 5.3.

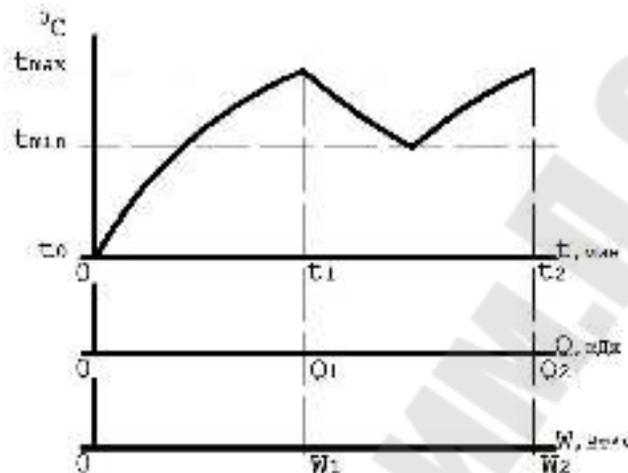


Рис. 5.2. Диаграмма работы системы отопления

Таблица 5.2

Результаты измерений

Скорость насоса II; температура $T_k = \dots$ °C					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура ΔT_k , °C					
Показания счетчика электроэнергии SW1 на отрезке времени t_0 – t_1 , Вт · ч					
Показания счетчика тепла Q1 на отрезке времени t_0 – t_1 , кДж					

Таблица 5.3

Результаты измерений

Скорость насоса II; температура $T_k = \dots$ °C					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура ΔT_k , °C					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t_1 – t_2 , Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t_1 – t_2 , кДж					

13. Выключить котел.
14. Перевести переключатель SA1 в положение «Внеш.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.
15. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.
16. Присоединить интерфейсный кабель к ПЛК, для этого может понадобиться извлечь крышку порта связи ПЛК.
17. Открыть имеющийся проект или создать программу для ПЛК Alpha-2 в Mitsubishi Alpha Programming.
18. Записать программу в ПЛК. Запустить функционирование и мониторинг.
19. Изменить настройки блоков в программе (если требуется) для задания необходимых температур включения и отключения котла.
20. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10 °С, откройте вентили В1–В5 на распределителе.
21. Установить максимальную величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла).
22. Снять показания теплосчетчика Q1.
23. Включить котел (переключатель на передней панели котла).
24. По мере нагрева теплоносителя снять зависимость роста температуры во времени (рис. 5.2). Значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1.
25. Диаграмма на рис. 5.2 поясняет последовательность работы системы и снятие экспериментальных данных. Участок t_0-t_1 соответствует табл. 5.4, участок t_1-t_2 – табл. 5.5.
26. На обозначенных отрезках времени снять показания теплосчетчика Q1. Расходованное тепло найти как приращение показаний теплосчетчика в течение отрезка времени. Данные занести в табл. 5.4 и 5.5.
27. Выключить котел, выключить питание стенда, закрыть крышку котла.

Таблица 5.4

Результаты измерений

Скорость насоса II; задание температуры отключения ТЭН: 60 °С задание температуры включения ТЭН: 50 °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура T_1 , °С					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t_0-t_1 , Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t_0-t_1 , кДж					

Результаты измерений

Скорость насоса II; задание температуры отключения ТЭН: 60 °С задание температуры включения ТЭН: 50 °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура T_1 , °С					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t_1-t_2 , Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t_1-t_2 , кДж					

2. Исследование системы автоматизации теплоснабжения с поддержанием температуры в отапливаемом объеме

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1 равной II.
2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
3. Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние.
4. Открыть полностью вентиль В2, В4 на распределителе, остальные закрыть.
5. Перевести переключатель SA1 в положение «Внеш.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.
6. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.
7. Присоединить и интерфейсный кабель к ПЛК.
8. Открыть имеющийся проект или создать программу для ПЛК Alpha-2 в Mitsubishi Alpha Programming.
9. Записать программу в ПЛК. Запустить функционирование и мониторинг.
10. Изменить настройки блоков в программе (если требуется) для задания необходимых температур включения и отключения котла.
11. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10 °С, откройте вентили В1–В5 на распределителе.
12. Установить максимальную величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла).
13. Снять показания теплосчетчика Q1.
14. Включить котел (переключатель на передней панели котла).

15. По мере нагрева отапливаемого объема снять зависимость роста температуры во времени (рис. 5.2). Значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1. Значение температуры внутри бокса контролируется на экране компьютера в окне программы Mitsubishi Alpha Programming (блок [B60]). Данные занести в табл. 5.6 и 5.7.

16. Диаграмма на рисунке 2 поясняет последовательность работы системы и снятие экспериментальных данных. Участок t0–t1 соответствует табл. 5.6, участок t1–t2 – табл. 5.7.

17. На обозначенных отрезках времени снять показания теплосчетчика Q1. Расходованное тепло найти как приращение показаний теплосчетчика в течение отрезка времени. Данные занести в табл. 5.6 и 5.7.

18. Выключить котел, выключить питание стенда.

Таблица 5.6

Результаты измерений

Скорость насоса II;					
задание температуры отключения ТЭН: 60 °С					
задание температуры включения ТЭН: 50 °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура T ₁ , °С					
Температура ДТ _к , °С					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t0–t1, Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t0–t1, кДж					

Таблица 5.7

Результаты измерений

Скорость насоса II;					
задание температуры отключения ТЭН: 60 °С					
задание температуры включения ТЭН: 50 °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура T ₁ , °С					
Температура ДТ _к , °С					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t1–t2, Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t1–t2, кДж					

Лабораторная работа № 6 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Цель работы: 1) определение эффективности системы отопления исследуемого бокса в зависимости от параметров работы котла; 2) определение влияния потерь на вентиляцию исследуемого бокса при различных значениях ее интенсивности.

Порядок выполнения работы

1. Определение эффективности системы отопления исследуемого бокса в зависимости от параметров работы котла

При проведении опытов потребуется состыковать стенд (силовую установку) с боксом (отапливаемый объем). Для этого установить бокс вплотную к стенду таким образом, чтобы вырез в его стенке охватывал радиаторы отопления.

1–18. Действия те же, что и в части 2 лабораторной работы № 5. Полученные данные занести в табл. 5.6 и 5.7.

19. Повторить пункты 10–18 при других настройках программы управления котлом (температура включения и отключения).

20. Повторить пункты 10–19 при других скоростях циркуляционного насоса.

21. Систематизировать полученные ранее данные и занести в табл. 6.1.

22. Выключить котел, выключить питание стенда.

Таблица 6.1

Результаты измерений

Температура на подаче, °С	Измеренный параметр	Величина измеренного параметра при скорости циркуляционного насоса		
		I	II	III
40	Q1, кДж			
	Q2, кДж			
	W1, Вт · ч			
	W2, Вт · ч			
60	Q1, кДж			
	Q2, кДж			
	W1, Вт · ч			
	W2, Вт · ч			

2. Определение влияния потерь на вентиляцию исследуемого бокса при различных значениях ее интенсивности

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1, при которой обеспечивается наибольшая эффективность системы отопления (табл. 6.1). Для этого перевести регулятор на корпусе насоса в нужное положение.

2–10. Действия те же, что и в части 1.

11. Изменить настройки блоков в программе (если требуется) для задания необходимых температур включения и отключения котла, при которых обеспечивается наибольшая эффективность системы отопления (см. табл. 5.1–5.3).

12. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на 10 °С, откройте вентили В1–В5 на распределителе.

13. Установить максимальную величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла).

14. Снять показания теплосчетчика Q1.

15. Включить вытяжной вентилятор бокса на минимальную скорость. Для этого перевести ручку регулятора в положение, при котором вентилятор устойчиво вращается.

16. Включить котел (переключатель на передней панели котла).

17. По мере нагрева отапливаемого объема снять зависимость роста температуры во времени (см. рис. 5.2). Значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору Т1. Значение температуры внутри бокса контролируется на экране компьютера в окне программы Mitsubishi Alpha Programming (блок В60). Данные занести в табл. 5.4 и 5.5.

18. Диаграмма на рис. 5.2 поясняет последовательность работы системы и снятие экспериментальных данных. Участок t_0 – t_1 соответствует табл. 5.4, участок t_1 – t_2 – табл. 5.5.

19. На обозначенных отрезках времени снять показания теплосчетчика Q1. Расходованное тепло найти как приращение показаний теплосчетчика в течение отрезка времени. Данные занести в табл. 5.6 и 5.7.

20. Выключить котел.

21. Повторить пункты 11–20 при других настройках программы управления котлом (если требуется).

22. Повторить пункты 11–21 при других значениях интенсивности вентиляции.

23. Систематизировать полученные ранее данные и занести в табл. 6.2.

24. Выключить котел, выключить питание стенда.

Таблица 6.2

Результаты измерений

Температура на подаче, °С	Измеренный параметр	Величина измеренного параметра относительной интенсивности вентиляции		
		минимальная	средняя	максимальная
40	Q1, кДж			
	Q2, кДж			
	W1, Вт · ч			
	W2, Вт · ч			
60	Q1, кДж			
	Q2, кДж			
	W1, Вт · ч			
	W2, Вт · ч			

Лабораторная работа № 7

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ВВЕДЕНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЕТВИ С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМ НАСОСОМ

Цель работы: исследование возможности повышения эффективности работы системы отопления путем введения локальной циркуляции теплоносителя.

Порядок выполнения работы

1. Установить скорость работы циркуляционного насоса Н1, при которой обеспечивается наибольшая эффективность системы отопления (см. табл. 6.1). Для этого перевести регулятор на корпусе насоса в нужное положение.

2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

3. Убедиться, что все вентили на подающем и обратном трубопроводах открыты (ручки вдоль трубопроводов), при необходимости перевести их в открытое состояние.

4. При проведении опытов потребуется состыковать стенд (силовую установку) с боксом (отапливаемый объем). Для этого установить бокс вплотную к стенду таким образом, чтобы вырез в его стенке охватывал радиаторы отопления.

5. Открыть полностью вентиль В3, В4 на распределителе (см. рис. 3.1), остальные закрыть.

6. Перевести переключатель SA1 в положение «Внеш.», тумблер SA5 в положение Q1, тумблер SA6 в положение T1.

7. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.

8. Присоединить интерфейсный кабель к ПЛК, для этого может понадобиться извлечь крышку порта связи ПЛК.

9. Открыть имеющийся проект или создать программу для ПЛК Alpha-2 в Mitsubishi Alpha Programming. Контроллер во время исполнения программы должен управлять системой теплоснабжения аналогично тому, как это происходит при автоматической работе котла. При этом после отключения ТЭН должен включаться дополнительный циркуляционный насос Н2.

10. Записать программу в ПЛК. Запустить функционирование и мониторинг.

11. Изменить настройки блоков в программе (если требуется) для задания необходимых температур включения и отключения котла.

12. Если температура теплоносителя превышает требуемую более чем на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, откройте вентили В1–В5 на распределителе.

13. Установить максимальную величину задания для котла по температуре (с помощью регулятора температуры или кнопок на передней панели управления котла).

14. Снять показания теплосчетчика Q1, Q2.

15. Включить вытяжной вентилятор бокса на минимальную скорость. Для этого перевести ручку регулятора в положение, при котором вентилятор устойчиво вращается.

16. Включить котел (переключатель на передней панели котла).

17. По мере нагрева отапливаемого объема снять зависимость роста температуры во времени (рис. 7.1). Значение температуры теплоносителя на подаче контролируется непосредственно по индикатору T1. Значение температуры внутри бокса контролируется на экране компьютера в окне программы Mitsubishi Alpha Programming (блок В60). Данные занести в табл. 7.1–7.3.

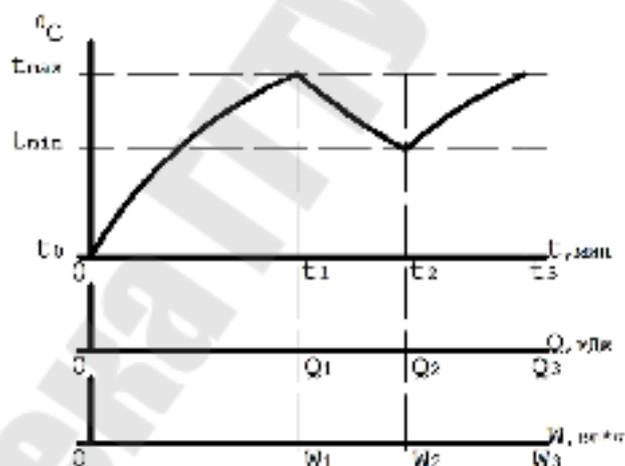


Рис. 7.1. Диаграмма работы системы отопления

18. Диаграмма на рис. 7.1 поясняет последовательность работы системы и снятие экспериментальных данных. Участок t_0 – t_1 соответствует табл. 7.1, участок t_1 – t_2 – табл. 7.2, участок t_2 – t_3 – табл. 7.3.

19. На обозначенных отрезках времени снять показания теплосчетчика Q1 и Q2. Расходившее тепло найти как приращение показаний теплосчетчика в течение отрезка времени. Данные занести в табл. 7.1–7.3.

20. Повторить при необходимости опыт на большем отрезке времени с другими настройками программы, интенсивностью вентиляции.

21. Выключить котел, выключить питание стенда.

Таблица 7.1

Результаты измерений

Скорость насоса ...;					
Температура (подача): ... °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура $T_1, °С$					
Температура $\Delta T_{кв}, °С$					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t_0-t_1 , Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t_0-t_1 , кДж					

Таблица 7.2

Результаты измерений

Скорость насоса ...;					
Температура (подача): ... °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура $T_1, °С$					
Температура $\Delta T_{кв}, °С$					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t_1-t_2 , Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t_1-t_2 , кДж					

Таблица 7.3

Результаты измерений

Скорость насоса ...;					
Температура (подача): ... °С					
Время, мин					Выключение ТЭН
Температура $T_1, °С$					
Температура $\Delta T_{кв}, °С$					
Затраченная электроэнергия по SW1 на отрезке времени t_2-t_3 , Вт · ч					
Расходованное тепло по Q1 на отрезке времени t_2-t_3 , кДж					

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети : учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – 7-е изд. – М. : Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
2. СНБ 2.04.002–2000. Строительная климатология.
3. ТКП 45-4.02-182–2009 Тепловые сети. Строительные нормы проектирования.
4. Каталог ЗПТ, 2010.
5. Теплоснабжение : учеб. для вузов / А. А. Ионин [и др.] ; под ред. А. А. Ионина. – М. : Стройиздат, 1982. – 336 с.
6. СНиП П-3–79. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1979. – 63 с.
7. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А. А. Николаева. – М. : Стройиздат, 1965. – 360 с.
8. Теплоснабжение : учеб. пособие для вузов / В. Е. Козин [и др.]. – М. : Высш. шк., 1980. – 408 с.
9. СНиП 2.04.07–86. Тепловые сети / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 48 с.

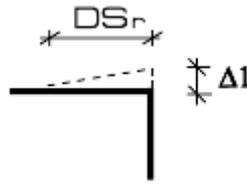
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

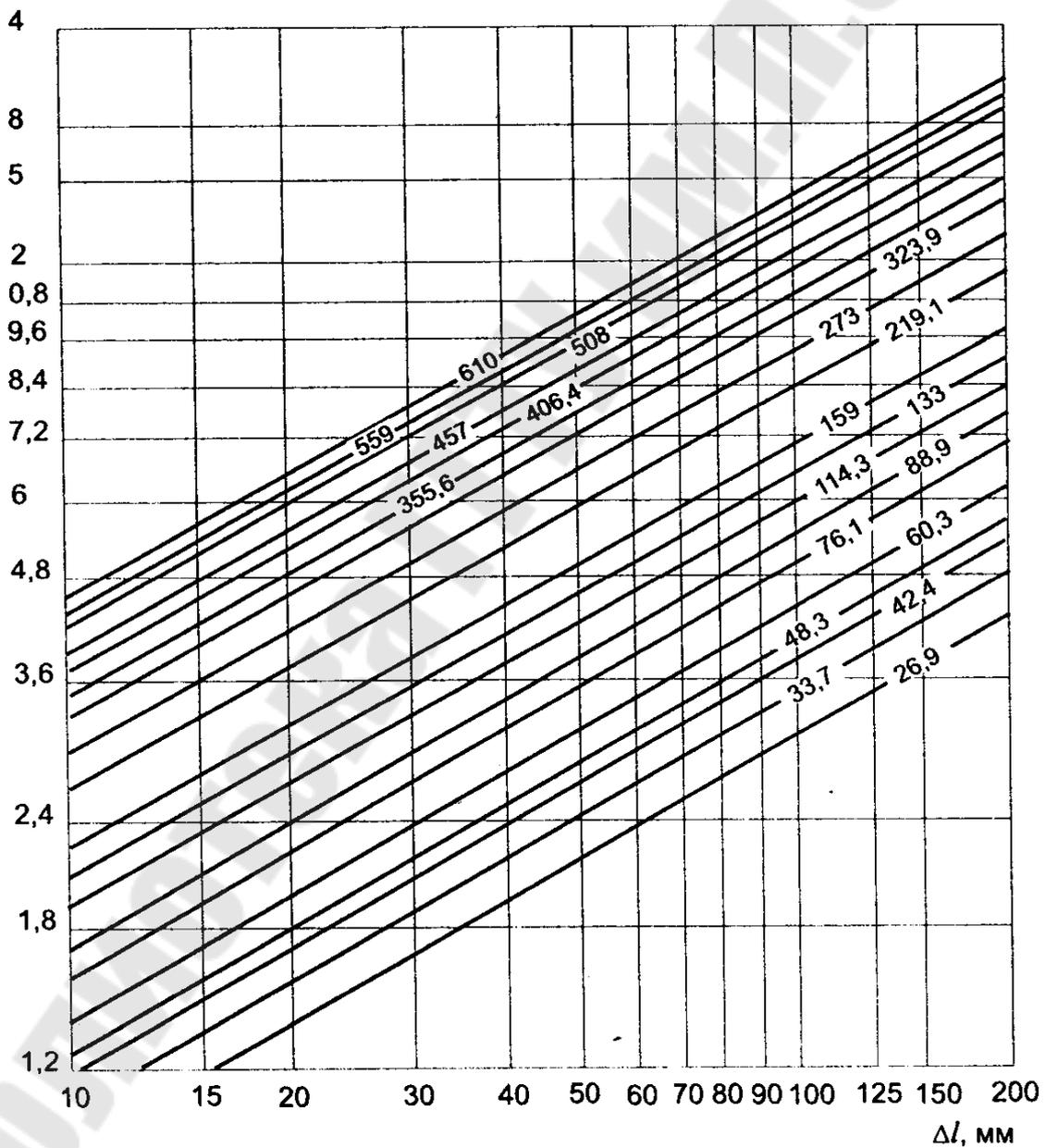
Характеристики трубопроводов в ППУ-изоляции

Условный диаметр трубы, d_y , мм	Наружный диаметр трубы, d , мм	Толщина стенки трубы, $\delta_{ст}$, мм	Внутренний диаметр трубы, $d_{вн}$, мм	Наружный диаметр трубы оболочки, D , мм	Сила трения F , Н/м	Площадь поперечного сечения стенки трубы, S , мм ²	Максимальная длина, L_m , м
32	38	3	32	110	1828	330	27
40	45	3	39	110	1828	396	32
50	57	3	51	125	2077	509	37
65	76	3	70	140	2326	688	44
80	89	3,5	82	160	2659	940	53
100	108	4	100	200	3323	1306	59
106	114	4	106	200	3323	1382	62
125	133	4	125	225	3739	1620	65
150	159	4,5	150	250	4154	2183	79
200	219	6	207	315	5234	4013	115
250	273	6	261	400	6647	5030	114
300	325	6	313	450	7478	6010	120
350	377	7	363	500	8308	8133	147
400	426	7	412	560	9305	9210	148
500	530	7	516	710	11798	11496	146
600	630	8	614	800	13294	15625	176
700	720	8	704	900	14955	17885	179

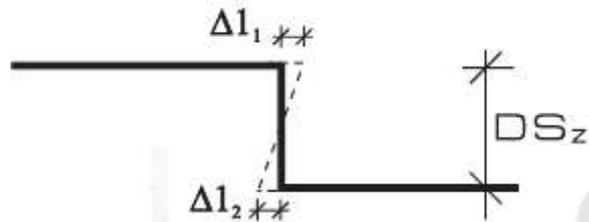
Г-образная форма компенсации



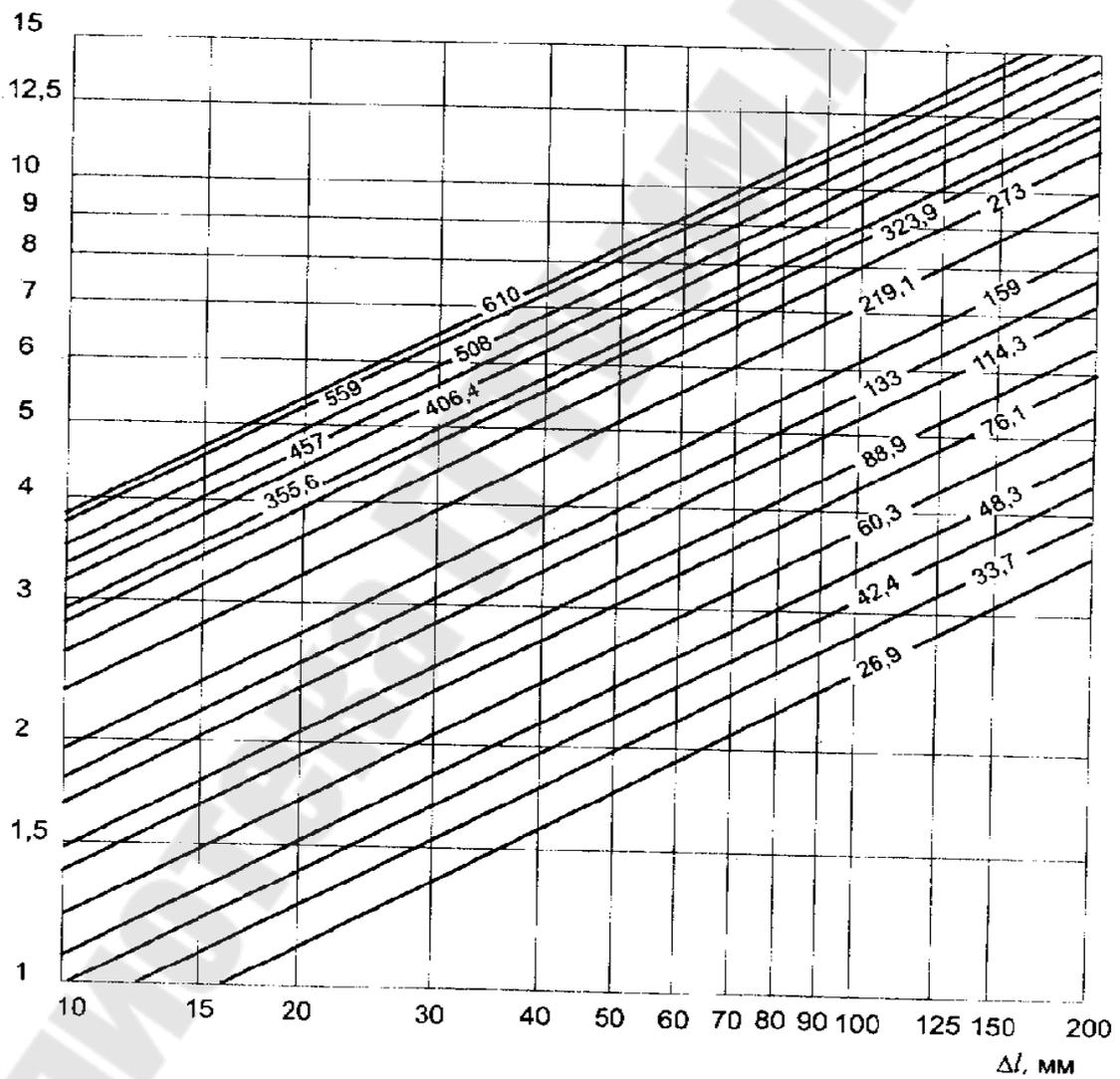
Длина плеча компенсации (DS_r) в зависимости от удлинения (Δl).



Z-образная форма компенсации



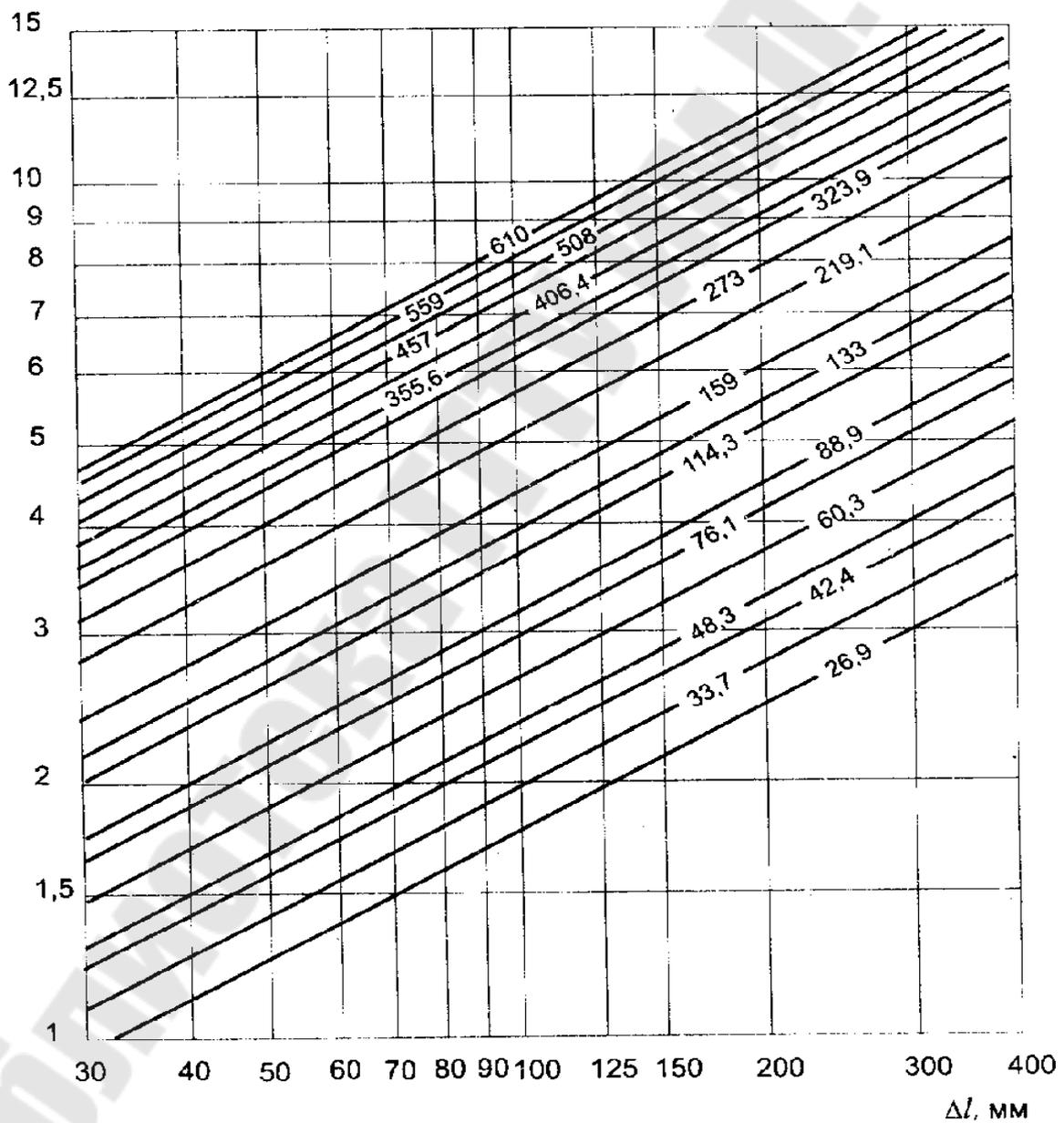
Длина плеча компенсации (DS_z) в зависимости от удлинения (Δl).



П-образная форма компенсации



Длина плеча компенсации ($DS_{\text{П}}$) в зависимости от удлинения (Δl).



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Лабораторная работа № 1. Исследование температурного поля двухтрубных водяных сетей при подземной прокладке.....	4
Лабораторная работа № 2. Исследование температурных удлинений трубопроводов.....	9
Лабораторная работа № 3. Определение потерь тепловой энергии при ее транспортировании	14
Лабораторная работа № 4. Определение теплоотдачи отопительных приборов.....	17
Лабораторная работа № 5. Исследование автоматизированной системы управления теплоснабжением.....	19
Лабораторная работа № 6. Экспериментальное исследование эффективности системы теплоснабжения.....	25
Лабораторная работа № 7. Повышение эффективности работы системы отопления введением дополнительной ветви с циркуляционным насосом.....	28
Литература	31
Приложения	32

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Юфанова Татьяна Сергеевна
Харьков Константин Владимирович

ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Практикум
по одноименной дисциплине
для студентов специальностей
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения

Электронный аналог печатного издания

Редактор *А. В. Власов*
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 30.09.14.

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

Ризография. Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 2,19.

Изд. № 77.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:

Издательский центр

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

Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.05.2014 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48