

**Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации**

**Московский государственный агроинженерный университет  
им. В.П. Горячкина**

***ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ***

*Задания для контрольной работы  
и методические рекомендации  
по ее выполнению*

**Москва 2004**

Кафедра теплотехники

Авторы: С.П. Рудобашта,  
И.В. Залисский

Источники и системы теплоснабжения. Задания для контрольной работы и методические рекомендации по ее выполнению.

Для студентов специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2004 г. 15 стр.

Приведены задания для контрольной работы и рекомендации по их выполнению.

© Московский государственный  
агроинженерный университет

Контрольная работа выполняется по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения» – в соответствии с учебным планом ФЗО МГАУ по специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства (специализация «Энергообеспечение предприятий»).

Она содержит четыре задания с исходными данными, выбираемыми по цифрам шифра, методические указания, а также примеры решений. К концу методических указаний приведена рекомендуемая литература.

Контрольная работа выполняется в ученической тетради или на листах белой чистой бумаги формата 11. В начале должно быть записано условие задачи и по шифру из таблицы данного задания выписаны исходные данные. Затем следует ее решение, сопровождаемое необходимыми пояснениями и графиками. При выполнении вычислений сначала записывают формулу, после чего в нее подставляют численные значения величин и приводят конечный результат с указанием его размерности. При использовании литературных источников по тексту даются ссылки на них – в квадратных скобках в виде номера из списка этих источников, который приводится в конце работы в соответствии с правилами оформления списка литературы.

## Задание № 1

### Гидравлический режим системы теплоснабжения

Вычислить необходимый напор насоса  $\Delta H_{70}$  при условии что напор на абонентских установках А, В и Б будет не менее 15 м вод. ст. (рис. 1). Исходные данные для расчета взять из табл. 1.

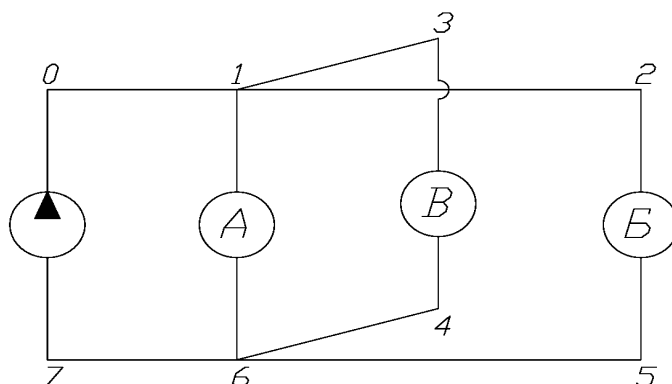


Рис. 1. Схема системы теплоснабжения

Таблица 1

Последняя цифра шифра	Падение напора на участках			Предпоследняя цифра шифра	Длины участков		
	$\Delta H_{01}=\Delta H_{67}$	$\Delta H_{12}=\Delta H_{56}$	$\Delta H_{13}=\Delta H_{46}$		$L_{01}=L_{67}$	$L_{12}=L_{56}$	$L_{13}=L_{46}$
0	3	2	2	0	200	150	130
1	3	1	2	1	100	150	100
2	4	2	1	2	200	150	100
3	2	4	2	3	150	200	100
4	3	1	4	4	180	130	120
5	2	3	3	5	100	150	100
6	4	1	3	6	120	110	150
7	1	4	4	7	150	120	200
8	1	2	3	8	150	180	200
9	2	4	4	9	100	250	200

### Методические указания к выполнению задания № 1

При движении теплоносителя по трубам происходит трение воды о стенки. В результате гидравлических потерь давление по ходу движения теплоносителя линейно понижается. Степень понижения давления зависит от диаметра трубопровода, скорости движения теплоносителя, вязкости теплоносителя и др. Необходимый напор насоса находят с помощью пьезометрического графика  $H=f(L)$ , который отражает уровень давления в каждой точке тепловой сети. При построении этого графика оси “х” откладывается длина участка тепловой сети, а по оси “у” падение давления на участке.

**Пример 1.** Вычислить необходимый напор насоса  $\Delta H_{50}$  при условии, что напор на абонентских установках А и Б будет не менее 15 м вод. ст. (рис. 2). Падение напора на участках:  $\Delta H_{01} = \Delta H_{54} = 2$  м. вод. ст.,  $\Delta H_{12} = \Delta H_{34} = 3$  м. вод. ст. Длины участков:  $L_{01} = L_{67} = 200$  м,  $L_{01} = L_{67} = 150$  м

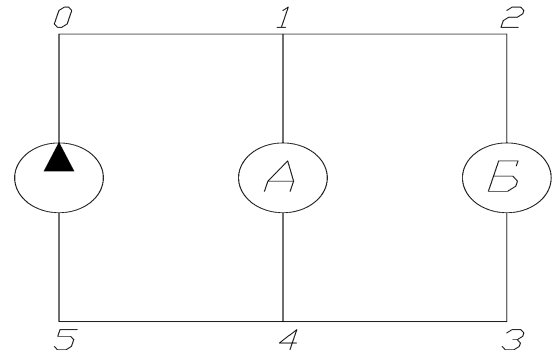


Рис. 2. Схема теплоснабжения к примеру 1.

### Решение

Начинаем построение из точки 5, т.к. известно, что в точке на всасывающем патрубке давление насоса должно быть несколько больше атмосферного во избежание вскипания теплоносителя и нормальной работы насоса. Принимаем  $H_5 = 5$  м. вод. ст. и намечаем на графике  $H=f(L)$  точку 5 (рис. 3).

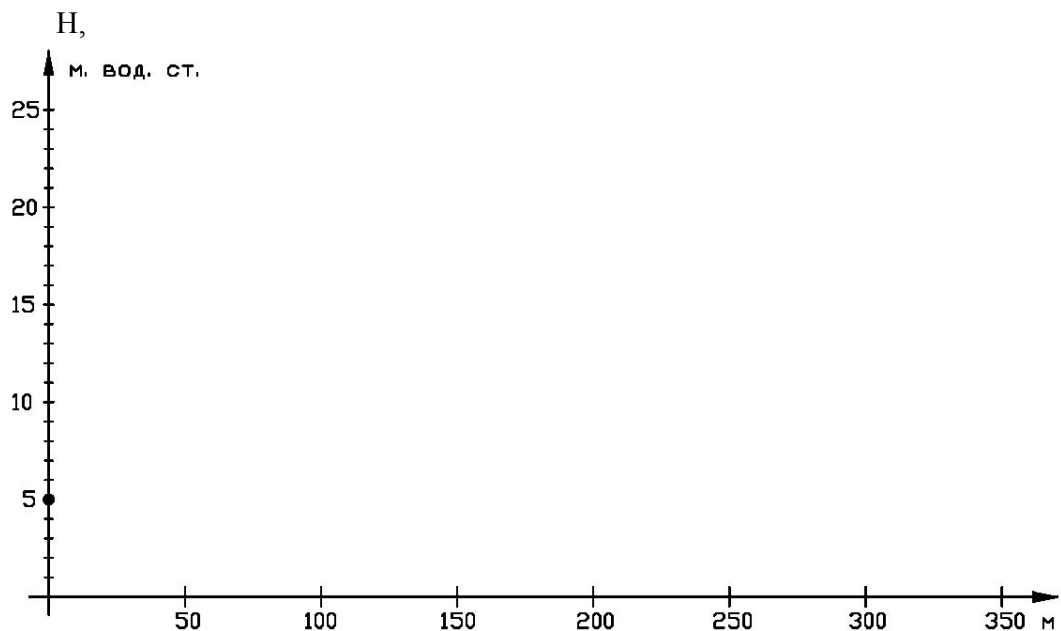


Рис. 3. Нанесение точки 5 на графике  $H=f(L)$ .

Длина участка 45 составляет 200 м, а падение давления составит 2 м. вод. ст. – значит в точке 4 давление будет выше, чем в точке 5, на 2 м. вод. ст. Наносим на график  $H = f(L)$  точку 4 (рис. 4)

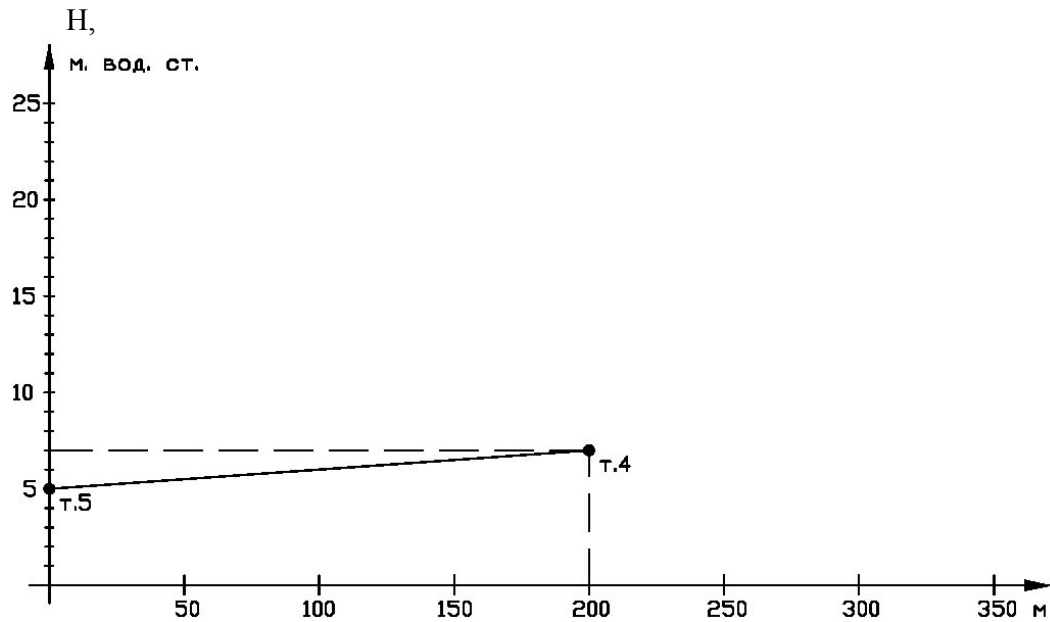


Рис. 4. Нанесение точки 4 на график  $H = f(L)$ .

Аналогичным образом намечаем точку 3 (рис. 5).

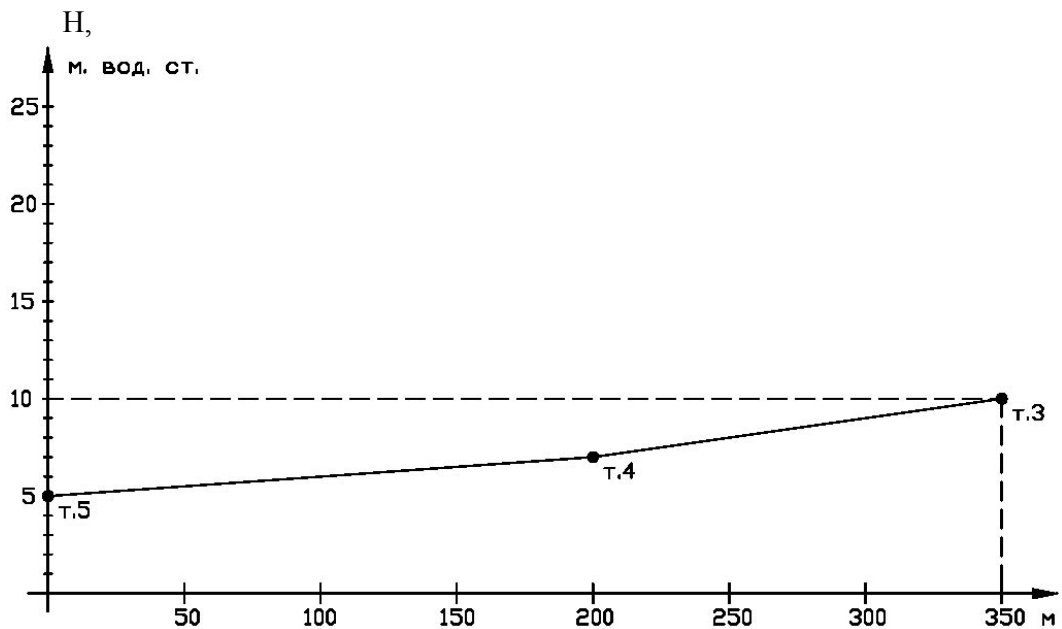


Рис. 5. Нанесение точки 3 на график  $H = f(L)$ .

Теперь отложим из точек абонентских вводов требуемую потерю напора (рис. 6).

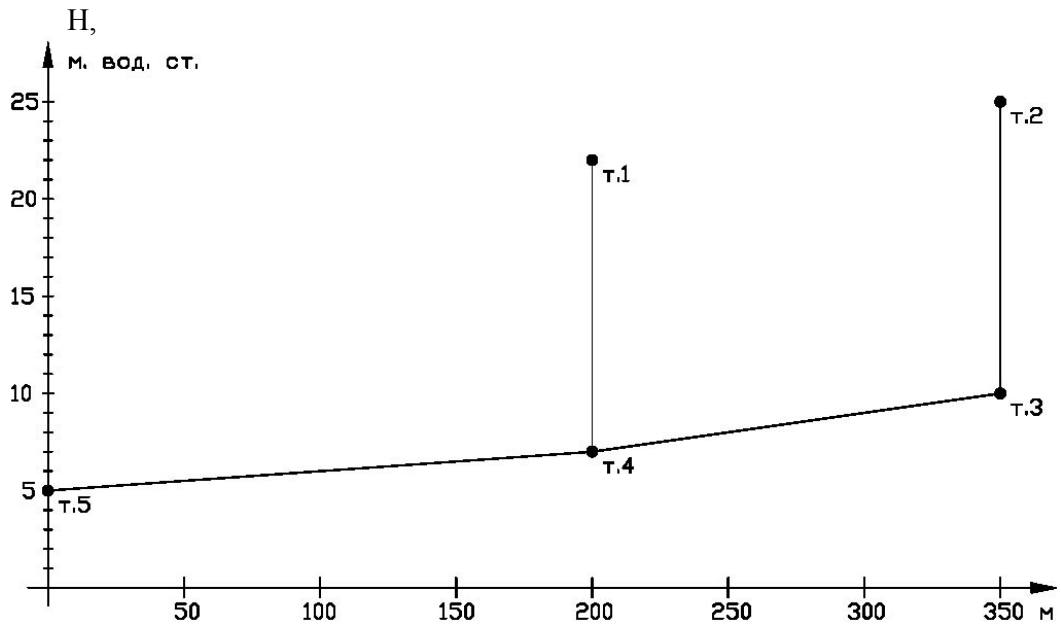


Рис. 6. Нанесение требуемых потерь напора на график  $H = f(L)$ .

Давление в точке 1 должно быть больше давления в точке 2 на 3 м вод. ст. Если проводить линию падения напора из т. 1, то перепад давления на абоненте Б будет меньшим, чем требуется в условии задачи, и составит  $19 - 10 = 9$  м вод. ст. — как это показано на следующем рисунке.

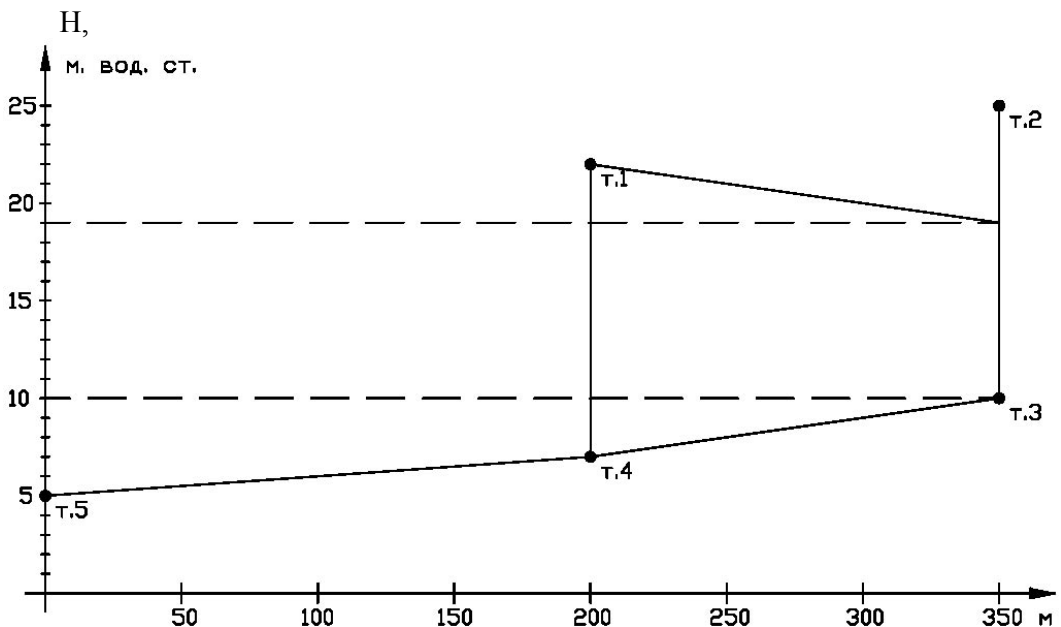


Рис. 7. Неправильное нахождение положения точки 1 на графике  $H = f(L)$ .

Если проводить линию из т. 2 (рис. 8), то перепад давлений на абонентах А и Б будет соответствовать условиям задания и составит соответственно  $28 - 7 = 21$  и  $25 - 10 = 15$  м вод. ст., что соответствует условию задания.

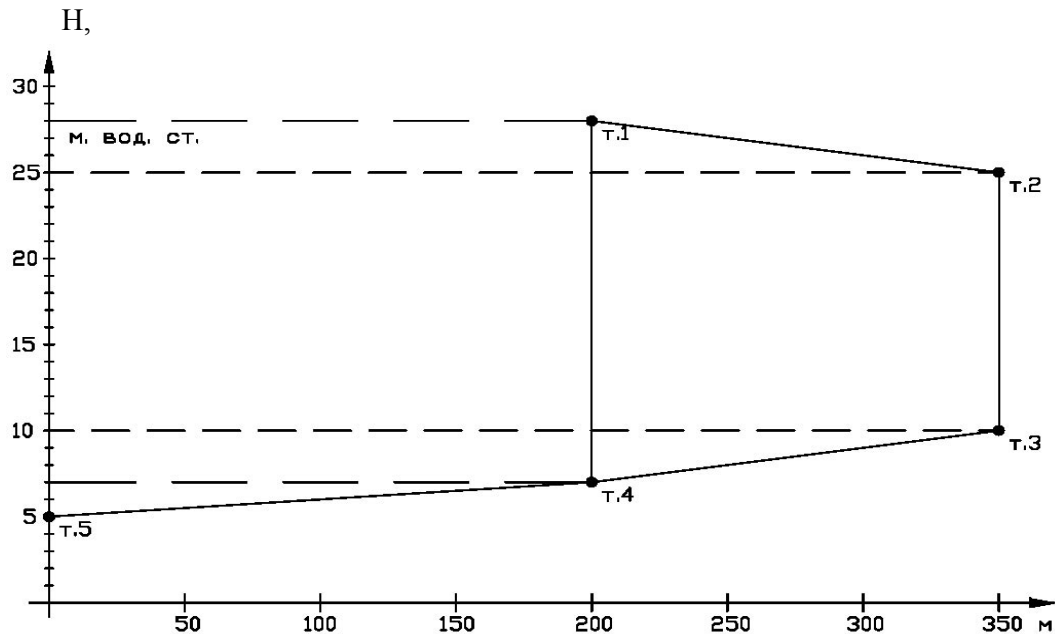


Рис. 8. Правильное нахождение положения точки 1 на графике  $H = f(L)$ .

Далее отметим участок 01 длиной 200 м и потерей напора 2 м вод. ст. (рис. 9) Из построенного графика видим, что требуемый напор насоса составит  $30 - 5 = 25$  м вод. ст.

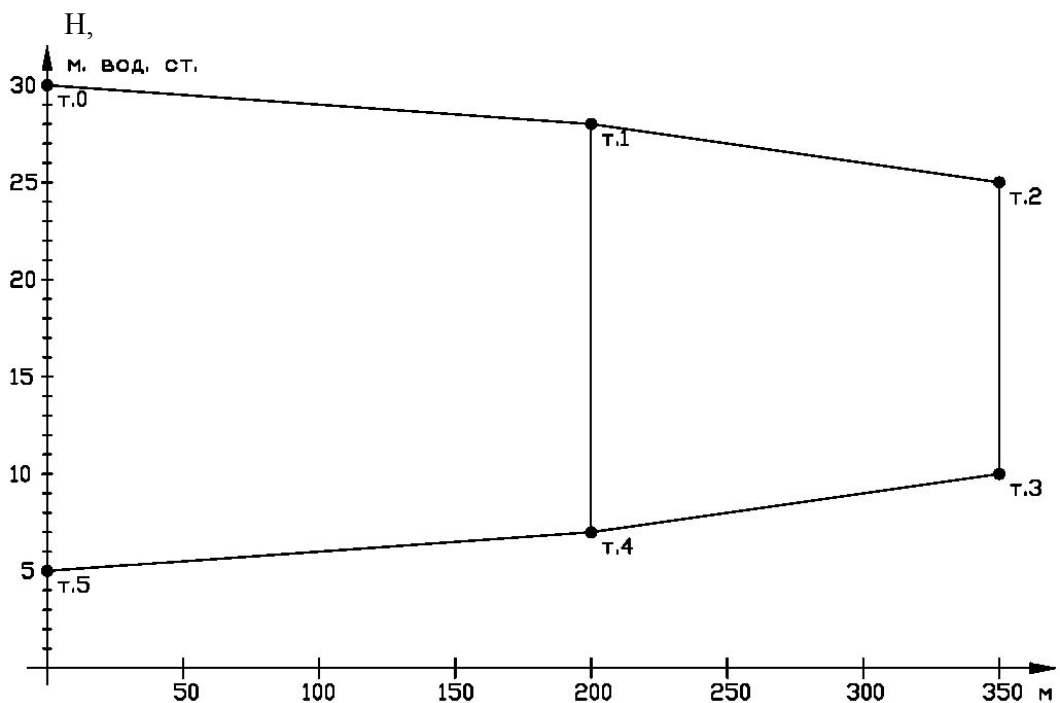


Рис. 9. Нахождение положения точки 0 на графике  $H = f(L)$ .



## Задание № 2

### Гидравлический расчёт систем теплоснабжения

Произвести гидравлический расчёт одного из участков тепловой сети из задания № 1. Обеспечить расход теплоносителя  $G$ . Абсолютную эквивалентную шероховатость труб принять равной 0,5 мм. Исходные данные для расчета взять из табл. 2.

**Таблица 2**

Последняя цифра шифра	№ участка	Предпоследняя цифра шифра	$G$ кг/с	$K_{\Sigma}$ , м
0	01	0	25	0,0002
1	01	1	10	
2	12	2	10	
3	13	3	10	0,0005
4	01	4	15	
5	12	5	15	
6	13	6	15	0,001
7	01	7	20	
8	12	8	20	
9	13	9	20	

### Методические указания к выполнению задания № 2

Расход – это количество (масса) теплоносителя, протекающего через сечение трубопровода в единицу времени. Теплоноситель движется по трубопроводу вследствие разницы давлений (напора) на концах трубопровода. В случае отсутствия гидравлических потерь перепад давления инициировал бы бесконечно большую величину расхода теплоносителя. На самом деле присутствие гидравлического трения ограничивает величину расхода, определяемую следующим образом:

$$G = A_G^e \cdot R_l^{0.5} \cdot d^{2,625}, \quad (1)$$

где  $A_G^e$  – коэффициент, учитывающий шероховатость труб, тип теплоносителя (верхний индекс  $e$ ), константы в исходных уравнениях;

$$R_l = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{l} \text{ – линейное падение давления теплоносителя (Па/м);}$$

$\rho$  – плотность теплоносителя кг/м<sup>3</sup>;

$g = 9,81$  – ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>;

$H$  – напор на участке, м вод. ст.;

$d$  – внутренний диаметр трубопровода, м.

Решив уравнение (1) относительно диаметра трубопровода, и величины линейного падения давления, получим следующие выражения:

$$d = \frac{A_d^e \cdot G^{0,38}}{R_l^{0,19}}, \quad (2)$$

$$R_l = \frac{A_d^e \cdot G^2}{d^{5,25}}, \quad (3)$$

где  $A_d^e$  и  $A_R^e$  – коэффициенты, учитывающие шероховатость труб, тип теплоносителя (верхний индекс  $e$ ) и константы в исходных уравнениях, значения которых приведены в табл. 3 в зависимости от абсолютной эквивалентной шероховатости  $K_z$ .

**Таблица значения коэффициента  $A^e$  в формулах 1, 2 и 3**

Коэффициент	Абсолютная эквивалентная шероховатость $K_z$ , м		
	0,0002	0,0005	0,001
$A_R^e$	$10,92 \cdot 10^{-6}$	$13,62 \cdot 10^{-6}$	$16,3 \cdot 10^{-6}$
$A_d^e$	$111,5 \cdot 10^{-3}$	$117,0 \cdot 10^{-3}$	$121,0 \cdot 10^{-3}$
$A_G^e$	302	269	246

В задачу гидравлического расчета входит определение необходимого диаметра трубопровода, существующих потерь давления и полученного расхода теплоносителя. Расчет выполняют в два этапа.

#### **Этап первый – предварительный расчет.**

Используя уравнение 2, вычисляют требуемый **внутренний** диаметр трубы. Однако существуют только стандартные диаметры трубопроводов (табл. 4), а вычисленные значения диаметра как правило не совпадают со стандартными. Тогда берут ближайший большой **внутренний** диаметр. В этом случае гидравлические потери будут меньше запланированных и расход будет обеспечен несколько больший, чем запланировано.

**Таблица 4**

#### **Стандартные диаметры трубопроводов**

Наружный диаметр, мм	38	45	57	76	89	108	133	159	194	219	273	325	377
<b>Внутренний</b> диаметр, мм	33	40	51	70	82	100	125	150	184	207	259	309	359

Наружный диаметр, мм	426	426	480	530	630	720	820	920	1020	1120	1220
<b>Внутренний</b> диаметр, мм	408	414	466	514	612	700	800	898	996	1096	1192

## Этап второй – проверочный расчет.

Используя уравнение 1 и 3, уточняют значения расхода теплоносителя и падения давления изменившихся вследствие несовпадения расчетного и стандартного диаметра.

Примечание: с помощью гидравлического расчета можно уточнить гидравлические потери на каждом участке сети и построить уточненный пьезометрический график системы согласно методике, изложенной в задании № 1.

## Задание № 3

Произвести тепловой расчет участка сети, рассчитанного в задании № 2. Материал изоляции – минеральная вата, температура воды в теплопроводе  $t_{\text{вод}} = 95^\circ\text{C}$ . Исходные данные для расчета взять из табл. 5.

Таблица 5

### Тепловой расчет систем теплоснабжения

Последняя цифра шифра	$h$ – глубина заложения теплопровода, м	Предпоследняя цифра шифра	$t_{\text{окр.ср}}$ °C	$\Delta$ – толщина изоляции, мм
0	1,4	0	-10	40
1	0,5	1	-35	60
2	0,6	2	-35	60
3	0,7	3	-35	55
4	0,8	4	-35	55
5	0,9	5	-25	50
6	1,0	6	-25	50
7	1,1	7	-25	45
8	1,2	8	-25	45
9	1,3	9	-10	40

## Методические указания к выполнению задания № 3

Преодолевая расстояние между котельной и потребителем, теплоноситель теряет часть энергии в результате теплообмена с окружающей средой. Для уменьшения тепловых потерь трубопровод покрывают слоем теплоизоляции. Материал теплоизоляции должен иметь малую теплопроводность и гигроскопичность. В большинстве случаев теплопровод прокладывают на некоторой глубине от поверхности земли (рис. 10). Благодаря этому создается дополнительная Теплоизоляция грунтом. В общем случае потери теплоты вычисляют следующим образом: 1) находят удельные (на единицу длины трубопровода) тепловые потери  $q_l$  (Вт/м):

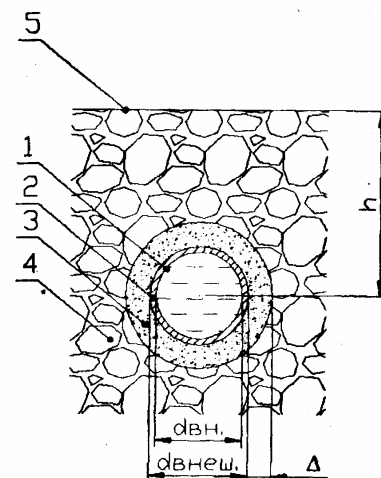


Рис. 10. Схема прикладки теплопровода

$$q_l = \frac{\tau_{\text{вод}} - t_{\text{окр. ср}}}{R} \quad (4)$$

где  $\tau$  – температура теплоносителя  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{окр. ср}}$  – температура окружающей среды  $^{\circ}\text{C}$ ;

$R$  – термическое сопротивление,  $(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ ;

В нашем случае термическое сопротивление  $R$  состоит из сопротивления теплоотдачи на внутренней поверхности теплопровода  $R_1$ , сопротивления материала трубы  $R_2$ , сопротивления изоляции  $R_3$ , сопротивления грунта  $R_4$ , сопротивления поверхности грунта  $R_5$ . На практике из-за малости сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , ими пренебрегают, поэтому суммарное термическое сопротивление можно представить в виде  $R = R_3 + R_4 + R_5$ , где:

$R_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{d_{\text{внеш}} + 2 \cdot \Delta}{d_{\text{внеш}}}$  – сопротивление изоляции, где  $\lambda$  – теплопроводность

материала изоляции (для минеральной ваты  $\lambda = 0,045 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ );

$R_4 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \left[ 2 \cdot \frac{h}{d_{\text{внеш}} + 2 \cdot \Delta} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{(d_{\text{внеш}} + 2 \cdot \Delta)^2} - 1} \right]$  – сопротивление грунта, где

$\lambda_{\text{гр}}$  – теплопроводность грунта (принять равной  $2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ );

Сопротивление поверхности  $R_5$  учитывают в случае малой глубины залегания ( $h/[d_{\text{внеш}} + 2\Delta] < 2$ ) с помощью дополнительной фиктивной глубины залегания  $h$ , определяемой по формуле:

$$H = h + h_{\phi} = h + \lambda_{\text{гр}}/\alpha, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи (принять равным  $50 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ).

После нахождения  $q_l$  определяют тепловые потери на всём участке трубопровода:

$$Q = q_l l \quad (6)$$

Падение температуры теплоносителя составит:

$$\tau_1 = \tau_2 - \frac{Q}{G \cdot c}, \quad (7)$$

где  $c$  – теплоёмкость теплоносителя (для воды  $c = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ).

## Задание № 4

### Расчёт аккумулятора горячей воды

Произвести расчёт необходимой ёмкости аккумулятора горячей воды графическим методом, исходя из заданного графика суточного потребления горячей воды (рис. 11). Исходные данные для расчета взять из табл. 6.

### Почасовое потребление горячей воды в течение суток

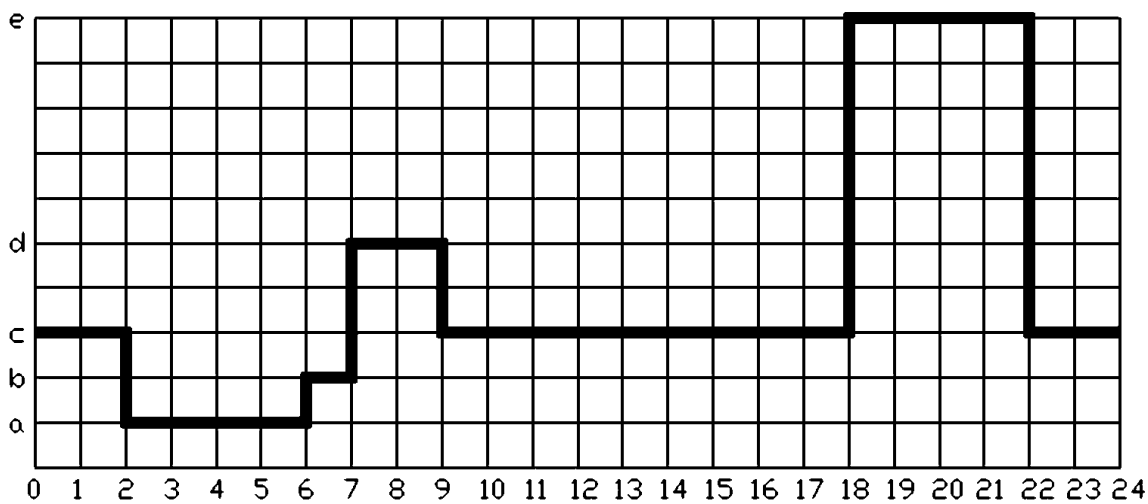


Рис. 11. График суточного потребления горячей воды (задание)

Таблица 6

Последняя цифра шифра	Потребления «a» и «b», т/ч		Предпоследняя цифра шифра	Потребления «c», «d» и «e», т/ч		
	a	b		c	d	e
0	2	3	0	4	5	10
1	1	2	1	3	5	10
2	0.5	2	2	3	5	10
3	0.5	1	3	3	5	10
4	0.5	1	4	2	5	10
5	0.5	1	5	2	4	10
6	0.5	1	6	2	4	8
7	1	3	7	4	5	10
8	1	2	8	4	5	10
9	1	2	9	5	6	10

### Методические указания к выполнению задания № 4

Как видно из графика суточного расхода – потребление горячей воды неравномерно в течение суток. Зачастую бывает выгодна ситуация, когда подача горячей воды должна быть постоянна. Аккумулятор горячей воды работает следующим образом: в периоды малого водопотребления излишек горячей воды поступает в аккумулятор, а в периоды большого водопотребления накопленная горячая вода компенсирует недостаток сетевого расхода. Таким образом расход горячей воды в сети постоянен.

**Пример 2.** Произвести расчёт необходимой ёмкости аккумулятора горячей воды графическим методом, исходя из заданного графика суточного потребления горячей воды (рис. 12).

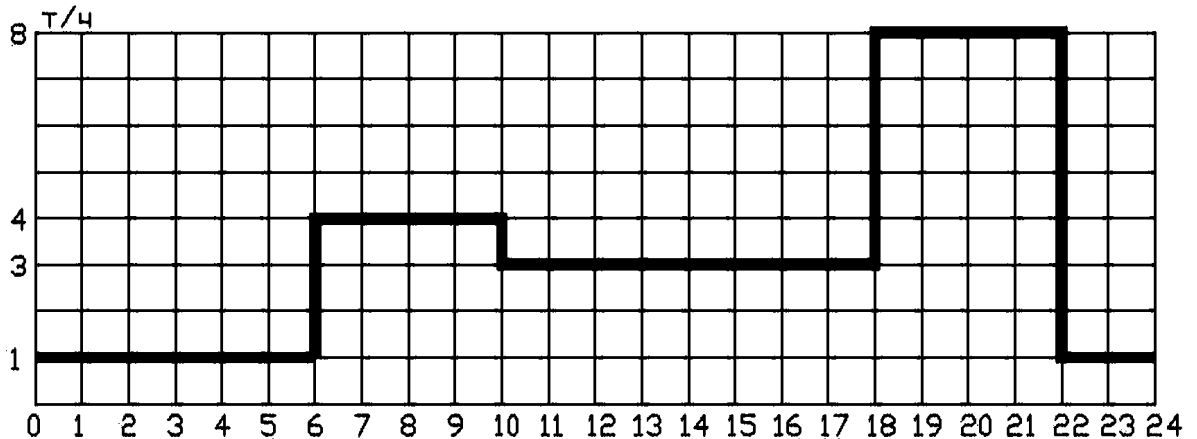


Рис. 12. График суточного потребления горячей воды (пример расчета)

Водопотребление в различные периоды суток составляет:

- к 6 часам утра:  $M = 1 \text{ т/ч} \cdot 6 \text{ ч} = 6 \text{ т}$
- к 10 часам утра:  $M = 6 \text{ т} + 4 \text{ т/ч} \cdot 4 \text{ ч} = 22 \text{ т}$
- к 18-ти часам:  $M = 22 \text{ т} + 3 \text{ т/ч} \cdot 8 \text{ ч} = 46 \text{ т}$
- к 22-ти часам:  $M = 46 \text{ т} + 8 \text{ т/ч} \cdot 4 \text{ ч} = 78 \text{ т}$
- к концу суток:  $M = 78 \text{ т} + 1 \text{ т/ч} \cdot 2 \text{ ч} = 80 \text{ т}$

Отразим на графике (рис. 13) полученные в расчете точки.

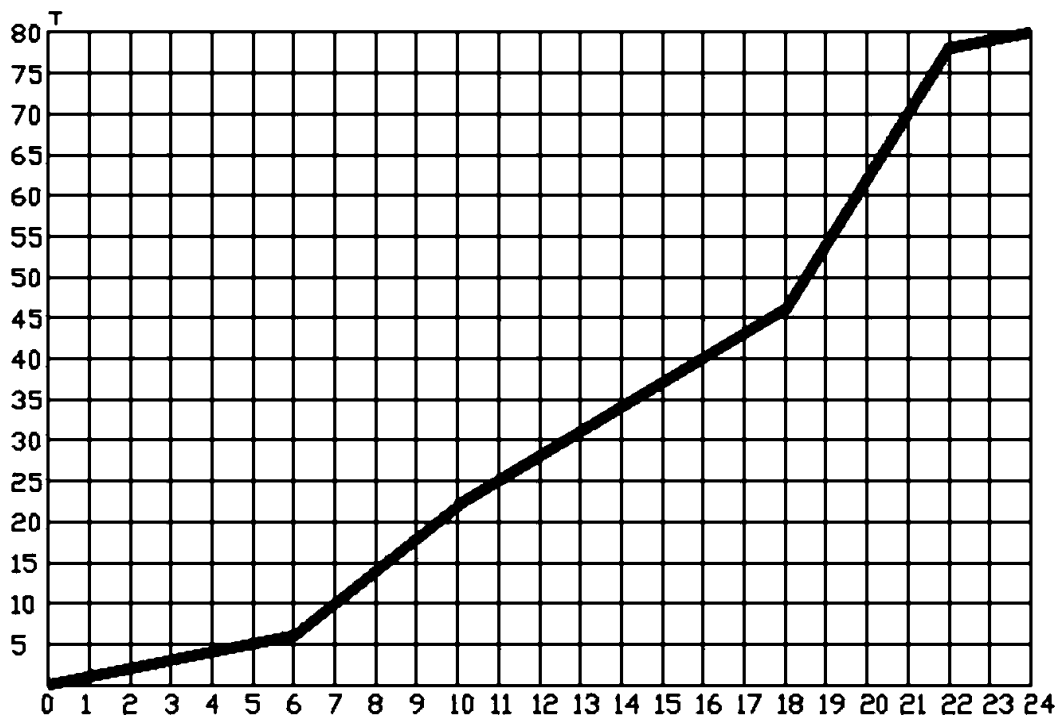


Рис. 13. Динамика потребления горячей воды в течение суток (пример расчета)

Строим график среднего расхода (рис. 14).

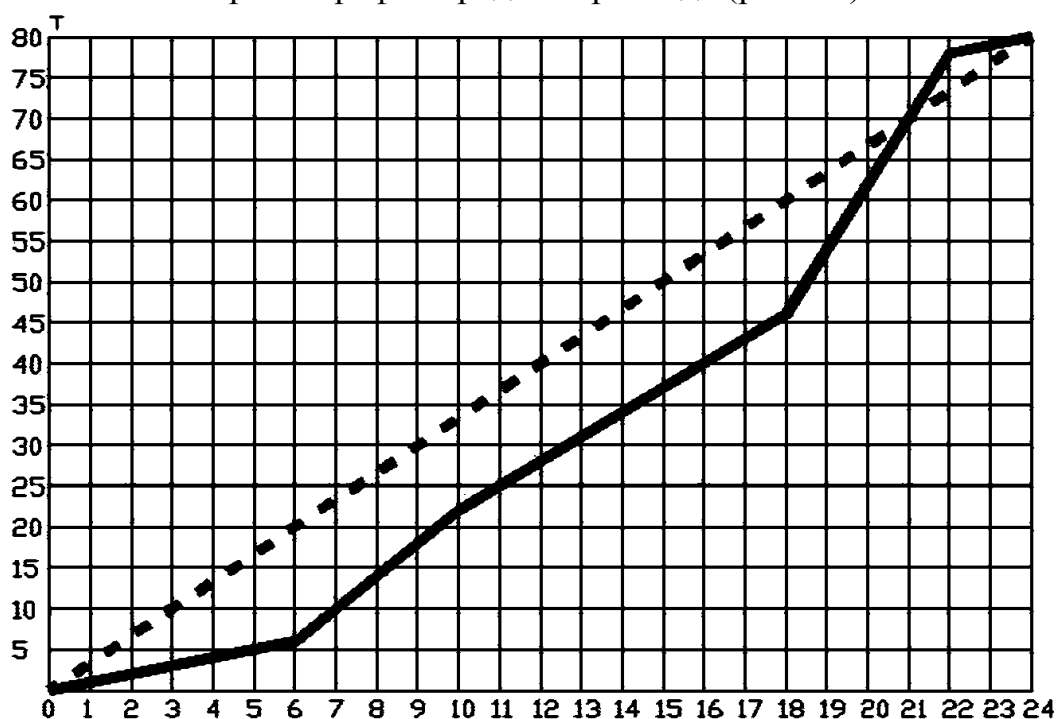


Рис. 14. Сопоставление графиков среднего (пунктирная линия) и реального (сплошная линия) расходов.

Из рис. 14 видно, что максимальная разница между линией среднего расхода и линией реального расхода составляет 14 т в моменты времени 6.00 и 18.00. Принимаем величину аккумулятора равной 14 т.

### Список литературы

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. 6-е изд. М.: 1999. – 472 с.
2. Драганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобашта С.П. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат. 1990. – 463 с.
3. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. Изд. 3-е, перер. и доп. М.: Агропромиздат. 1986. – 281 с.
4. Ионин А.А. и др. Теплоснабжение. М.: 1982. – 336 с.
5. Инструкция по эксплуатации тепловых сетей. М.: Энергия. 1972.

Задания для контрольной работы и  
методические указания по ее выполнению

Рудобашта Станислав Павлович  
Залисский Иван Валерьевич

Источники и системы теплоснабжения