

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТГС.

## ПРАКТИКУМ.

### 1. Нормативные документы в строительстве

*Ознакомление и изучение основных нормативных документов в строительстве, их содержание и структура, термины, определения и понятия. Этапы разработки и структура проектной документации. Последовательность проектирования. Сметная документация в строительстве. Организация строительных работ, механизация строительных работ. Нормативная документация в строительстве: СП; ГОСТы; СТО НОСТРОЙ, АВОК.*

В качестве федеральных нормативных документов применяют также межгосударственные строительные нормы и правила и межгосударственные стандарты (ГОСТ), введенные в действие на территории Российской Федерации.

Наряду с указанными нормативными документами Системы в строительстве применяют:

- технические регламенты;
- национальные стандарты и другие документы по стандартизации, метрологии и сертификации, принимаемые Ростехрегулированием;
- нормы, правила и нормативы органов государственного надзора;
- стандарты отраслей, нормы технологического проектирования и другие нормативные документы, принимаемые отраслевыми министерствами, государственными комитетами в соответствии с их компетенцией.

СНиП и ГОСТ Р в области строительства принимаются и вводятся в действие, а межгосударственные нормативные документы - вводятся в действие Росстроем в установленном им порядке.

СНиП устанавливают обязательные требования, ГОСТ Р - обязательные и рекомендуемые требования к параметрам и характеристикам объекта стандартизации.

СП принимает разработчик этих документов после согласования с соответствующими органами надзора и одобрения Росстроем. Устанавливают рекомендуемые положения в развитие и обеспечение обязательных требований СНиП и ГОСТ Р.

РДС принимает (утверждает) Росстрой в установленном им порядке.

ТСН принимают органы исполнительной власти соответствующих субъектов Российской Федерации.

СТП и СТО принимают предприятия и общественные объединения по организации и технологии производства, а также по обеспечению качества продукции.

ТУ на строительные материалы, изделия, конструкции и другую продукцию промышленных предприятий разрабатывают организации-разработчики или производители указанной продукции как составную часть конструкторской или технологической документации на ее изготовление.

Структура Системы нормативных документов в строительстве определяется номенклатурой объектов стандартизации и нормирования.

Для каждой группы однородных объектов формируется комплекс взаимосвязанных документов различных категорий и видов, объединяемых единством их цели и задач.

СТО НОСТРОЙ (национальное объединение строителей), АВОК (Ассоциация инженеров АВОК) выпустили свои нормы, правила и стандарты.

## **2. Системы теплоснабжения**

*Определение расчётных расходов для участков основного направления квартальной сети в режиме максимального водоразбора.*

*Расчёт циркуляционного расхода через секционный узел. Расчёт циркуляционного водопровода. Проверка гидравлической устойчивости. Определение расхода воды в трубопроводах в циркуляционном режиме и гидравлический расчёт распределительного циркуляционного трубопровода. Определение максимальный часовой расход воды на горячее водоснабжение. Средний часовой расход горячей воды за сутки. Средняя и максимальная часовая тепловая мощность (нагрузка) системы горячего водоснабжения. Коэффициент часовой неравномерности.*

## **2.1. Определение расчётных расходов для участков основного направления квартальной сети в режиме максимального водоразбора.**

Особенностью системы горячего водоснабжения является то, что в разное время суток расход воды в теплопроводах различен и зависит от разбора воды потребителям. В часы максимального водопотребления в подающих теплопроводах расход воды максимальный, а циркуляционный расход минимален (или отсутствует). Этот режим принято называть режимом максимального водопотребления. При минимальном водоразборе (или его отсутствии) в ночные часы, расход воды в подающих теплопроводах будет минимален, этот режим принято называть циркуляционным. Расчёт подающих теплопроводов производится в режиме максимального водопотребления, а расчёт циркуляционных трубопроводов в режиме циркуляции.

Для расчёта мы выбираем самый отдаленный стояк от ЦТП, это 3 дома по правую сторону от ЦТП.

Максимальный расход воды в л/с на участках подающего трубопровода в режиме водоразбора определяется по формуле:

$$G_0 = 5g_0 \cdot \alpha,$$

где  $g_0$  – секундный расход воды в конкретном, расчётном или условно расчётном водоразборном приборе, л/с;

$\alpha$  – коэффициент, определяемый по принятому уровню доверительной вероятности в зависимости от общего числа присоединенных приборов  $N$  и вероятности их действия  $P$  по прил.4 [1];

Расчёт вероятности включения водоразборного прибора в пик потребления горячей воды при одинаковых потребителях в зданиях и сооружениях:

$$P = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{3600 \cdot q_0^h \cdot N},$$

где:  $q_{hr,u} = 10$  л – норма расхода горячей воды потребляемой в час наибольшего водопотребления;

$U$  – число водопотребителей;

$q_0^h = 0,2$  л/с – секундный расход горячей воды санитарно-техническим прибором, определяемый по СНиП.

$N$  – число санитарно-технических приборов.

В расчётной схеме подключены последовательно 3 дома.

Определим количество проживающих людей и число санитарно-технических приборов.

Жилая площадь одной секции:

$$F_{ж} = F_{п} \cdot K,$$

где:  $F_{п}$  – полезная площадь,  $m^2$

$K$  - безразмерный планировочный коэффициент квартиры.  $K = 0,6 - 0,72$

$$F_{ж} = 222,2 \cdot 0,65 = 144,43 \text{ м}^2$$

Число жителей –  $U$ .

Всего в секции на этаже  $U_{эт} = 144,43 / 12 = 12$  человек

В доме 2 секции и 8 этажей  $U_{дом} = 12 \cdot 2 \cdot 8 = 192$  человека

Всего жителей в 3 трех домах –  $U_{расч} = 192 \cdot 3 = 576$  человек

Число санитарно-технических приборов.  $N = 8 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 3 = 384$  шт.

Вероятность  $P$  рассчитывается для всех приборов всех зданий, примыкающих к рассчитываемой системе горячего водоснабжения:

Результаты расчёта распределительных трубопроводов горячего водоснабжения в режиме максимального водоразбора приведены в таблице № 1.

Таблица 1

Расчёт расходов горячей воды в подающих трубопроводах в режиме водоразбора

№ участков	Количество жителей $U$	Количество водоразборных приборов, $N$	Вероятность $P$	$NP$	$\alpha$	Расход воды $G$ , л/с
1-2	24	16	0,02083	0,33328	0,558	0,56
2-3	48	32	0,0138	0,4416	0,638	0,64
3-4	72	48	0,0138	0,6624	0,779	0,78
4-5	96	64	0,0138	0,8832	0,905	0,91
5-6	192	128	0,0138	1,7664	1,345	1,35
6-7	288	192	0,0138	2,6496	1,702	1,71
7-8	384	256	0,0138	3,5328	2,041	2,05
8-9	480	320	0,0138	4,416	2,365	2,37
9-ЦТП	576	384	0,0138	5,2992	2,652	2,66

Первоначально назначаем диаметры участков, исходя из расчётных расходов и скоростей воды до 3,0 м/с. Для принятых диаметров находим потери давления. Длину стояка рассчитываем с учётом длины полотенцесушителей. Диаметр подводок принят равным 15 мм.

Потери давления на участках определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{под}} = K_M \cdot K_3 \cdot R \cdot \ell,$$

где  $R$  – удельные потери давления на трения при расчётном расходе воды на участке трубопровода, Па/м;

$L$  – длина участка трубопровода, м;

Длина полотенцесушителей для одного стояка  $l_{п-с}=(0,8+0,8+0,3) \times 8=15,2$  м

$K_3$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь давления вследствие зарастания внутренних поверхностей труб ( $K_3=2$ );

$K_m$  – коэффициент, учитывающий соотношение потерь давления на участке на трение и на местные сопротивления (1,2 – для подающих трубопроводов; 1,5 – для трубопроводов водоразборных стояков с полотенцесушителями; 1,1 – для циркуляционного стояка).

Результаты гидравлического расчёта сводим в таблицу. Расчёт можно вести по таблицам и номограммам, которые учитывают зарастание труб в процессе эксплуатации. Потери давления на местных сопротивлениях учитываем коэффициентами в долях от линейных потерь. Для подводящих трубопроводов – 0,2; для циркуляционных стояков – 0,1; для трубопроводов водоразборных стояков с полотенцесушителями – 0,5.

При кольцующих перемычках расход на водоразбор будет поступать сверху и снизу, поэтому в качестве расчётного принимают расход воды для стояка с коэффициентом 0,7

Для водонагревателей и начальных участков системы до первого водоразборного узла (стояка) расчётный расход горячей воды определяется с учётом циркуляционного расхода по формуле

$$G_0^{h,cir} = G_0(1+K_{cir}),$$

где  $K_{cir}$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от отношения  $\frac{G_0}{G_{ц}}$  для системы в целом.

Циркуляционный расход горячей воды в системе при этом может быть определён по формуле

$$G_{ц} = 1,3 \frac{\sum Q_{ТП}}{4,19 \cdot \Delta t_{доп}},$$

где  $\sum Q_{ТП}$  – теплотери всех водоразборных стояков, кВт

$c=4,19$  – теплоёмкость воды;

$\Delta t_{\text{доп}}$  – допустимое снижение температуры воды в трубопроводах (для узла  $\Delta t_{\text{доп}}$  принимают равным  $8,5^{\circ}\text{C}$ ).

Потери тепла трубопроводами  $Q_{\text{ТП}}$  (Вт) определяют по формуле:

$$Q_{\text{ТП}} = \pi \cdot k \cdot \ell \cdot D_{\text{н}} (t_{\text{ср}} - t_{\text{окр.ср.}}) (1 - \eta),$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи неизолированной трубы, принимаемый равным  $10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ );

$D_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубы, м;

$t_{\text{ср}}$  – средняя температура воды в трубе (для систем горячего водоснабжения принимается равной  $55^{\circ}\text{C}$ );

$t_{\text{окр.ср}}$  – температура окружающей (воздуха):

- для стояков  $t_{\text{окр.ср}} = 18^{\circ}\text{C}$ ;

$\ell$  – длина участка, м;

$\eta$  – КПД изоляции, в зависимости от типа изоляции обычно составляет  $0,6 \dots 0,8$ .

*Теплопотери на стояках:*  $l = 20 \text{ м}$   $D_{\text{н}} = 33,5 \text{ мм}$

$$Q_{\text{ТП}} = 3,14 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (55 - 18) \cdot (1 - 0,8) = 155,68 \text{ Вт}$$

*В секции 4 стояка:*  $134,64 \cdot 4 = 622,72 \text{ Вт}$

$$G_{\text{ц}} = 1,3 \cdot \frac{Q_{\text{ТП}}}{c \cdot \Delta t_{\text{доп}}} = 1,3 \cdot \frac{622,72}{4187 \cdot 8,5} = 0,0227 \text{ л/с}$$

$$\frac{G_0}{G_{\text{ц}}} = \frac{0,56}{0,0227} = 24,64$$

следовательно

$$K_{\text{сир}} = 0 \text{ и } G_0^{\text{сир}} = G$$

Таблица 2.

Гидравлический расчёт подающих трубопроводов в режиме водоразбора

Номер участка	Длина участка $L, \text{ м}$	Расход воды, $G, \text{ л/с}$	Диаметр участка, $D, \text{ мм}$	Скорость воды, $W, \text{ м/с}$	Удельные потери, $R$ , $\text{ Па/м}$	Потери давления $P$ , $\text{ Па}$
---------------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	--	---------------------------------------

1-2	35,2	0,56x0,7=0,392	25	1,4	2900	306240
2-3	0,23	0,64	25	1,5	3600	1987,2
3-4	4,35	0,78	32	1	960	10022,4
4-5	10,14	0,91	32	1,2	1650	40154,4
5-6	27,85	1,35	40	1,3	1350	90234
6-7	10,14	1,71	40	1,45	1850	45021,6
7-8	35,23	2,05	50	1,15	610	51576,72
8-9	10,14	2,37	50	1,25	800	19468,8
9-ЦТП	29,39	2,66	50	1,4	1200	84643,2
Сумма						649348,32

## 2.2. Расчёт циркуляционного расхода через секционный узел

Для дальнего водоразборного узла определить требуемый циркуляционный расход воды  $G_{\text{у}} \text{ (кг/с)}$  по формуле

$$G_{\text{у}} = \frac{Q_{\text{ТП}}}{c \cdot \Delta t_{\text{доп}}},$$

где  $Q_{\text{ТП}}$  – потери тепла подающими трубопроводами узла, Вт;

$c$  – теплоёмкость воды;

$\Delta t_{\text{доп}}$  – допустимое снижение температуры воды в трубопроводах (для узла  $\Delta t_{\text{доп}}$  принимают равным  $8,5^{\circ}\text{C}$ ).

Как отмечалось ранее, магистрали (в том числе и в подвале зданий) и подающие стояки должны иметь тепловую изоляцию. Не изолируются подводки к водоразборным приборам и полотенцесушители. Потери тепла трубопроводами  $Q_{\text{ТП}}$  (Вт) определяют по формуле

$$Q_{\text{ТП}} = \pi \cdot k \cdot \ell \cdot D_{\text{н}} (t_{\text{ср}} - t_{\text{окр.ср.}}) (1 - \eta),$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи неизолированной трубы, принимаемый равным  $10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$ ;

$D_{\text{н}}$  – наружный диаметр трубы, м;

$t_{\text{ср}}$  - средняя температура воды в трубе (для систем горячего водоснабжения принимается равной  $55^{\circ}\text{C}$ );

$t_{\text{окр.ср}}$  - температура окружающей (воздуха):

- для шахт сантехкабин  $t_{\text{окр.ср}} = 23^{\circ}\text{C}$ ,

- для подвала  $t_{\text{окр.ср}} = 10^{\circ}\text{C}$ ,

- для чердака  $t_{\text{окр.ср}} = 5^{\circ}\text{C}$ ,

- для стояков  $t_{\text{окр.ср}} = 18^{\circ}\text{C}$ ;

$\ell$  - длина участка, м;

$\eta$  – КПД изоляции, в зависимости от типа изоляции обычно составляет  $0,6 \dots 0,8$ .

Суммарные теплотери узла состоят из теплотерь всех стояков с полотенцесушителями, теплотерь трубопроводов в подвале и на чердаке.

*Теплотери на чердаке:*

$l = 9,95 \text{ м ДН} = 33,5 \text{ мм}$

$Q_{\text{тп}} = 3,14 \cdot 10 \cdot 9,95 \cdot 33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (55-5) \cdot (1-0,8) = 104,66,3 \text{ Вт}$

$l = 9,35 \text{ м ДН} = 42,3 \text{ мм}$

$Q_{\text{тп}} = 3,14 \cdot 10 \cdot 9,35 \cdot 42,3 \cdot 10^{-3} \cdot (55-5) \cdot (1-0,8) = 151,64 \text{ Вт}$

*Всего по чердаку: 256,3 Вт*

*Теплотери на стояках:  $l = 20 \text{ м ДН} = 33,5 \text{ мм}$*

$Q_{\text{тп}} = 3,14 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (55-18) \cdot (1-0,8) = 155,68 \text{ Вт}$

*В секции 4 стояка:  $155,68 \cdot 4 = 622,72 \text{ Вт}$*

*Теплотери в шахте сантехкабин:  $l = 15,2 \text{ м ДН} = 33,5 \text{ мм}$*

$Q_{\text{тп}} = 3,14 \cdot 10 \cdot 15,2 \cdot 33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (55-23) \cdot 1 = 511,64 \text{ Вт}$

*В секции 4 шахты:  $511,64 \cdot 4 = 2046,58 \text{ Вт}$*

*Теплотери в подвале:*

$l = 9,95 \text{ м ДН} = 33,5 \text{ мм}$

$$Q_{\text{тп}}=3,14 \cdot 10 \cdot 9,95 \cdot 33,5 \cdot 10^{-3} \cdot (55-10) \cdot (1-0,8)=94,19 \text{ Вт}$$

$$l = 9,35 \text{ м } D_{\text{н}} = 42,3 \text{ мм}$$

$$Q_{\text{тп}}=3,14 \cdot 10 \cdot 19,3 \cdot 42,3 \cdot 10^{-3} \cdot (55-10) \cdot (1-0,8)=136,48 \text{ Вт}$$

Всего по подвалу: 230,66 Вт

Итого теплопотери узла:  $Q_{\text{тп}}=3156,26 \text{ Вт}$

$$G_{\text{у}} = \frac{Q_{\text{тп}}}{c \cdot \Delta t_{\text{доп}}} = \frac{3156,26}{4187 \cdot 8,5} = 0,0888 \text{ кг/с}$$

Согласно СНиП 2.04.01-85 потери давления при циркуляционном расходе в узле от места присоединения водоразборного узла к распределительному подающему трубопроводу до места присоединения к распределительному циркуляционному трубопроводу должны быть  $\Delta P_{\text{уз}}^{\text{у}} = 30 \dots 60 \text{ кПа}$ . Таким образом, удельную располагаемую потерю давления для циркуляционного стояка следует определять по формуле

$$R_{\text{ст}}^{\text{у}} = \frac{\Delta P_{\text{уз}}^{\text{у}} - \Delta P_{\text{под}}^{\text{у}}}{K_{\text{з}} \cdot K_{\text{м}} \cdot \ell_{\text{ст}}}$$

где  $\Delta P_{\text{под}}^{\text{у}}$  - потери давления в подающих трубопроводах узла при циркуляционном расходе, Па;

$\ell_{\text{ст}}$  - длина циркуляционного стояка, м;

$K_{\text{з}}$  - коэффициент для циркуляционных трубопроводов (принять равным 1,3).

$$R_{\text{ст}}^{\text{у}} = \frac{30000}{1,3 \cdot 1,1 \cdot 23,95} = 875,95 \text{ Па/м}$$

По величинам  $G_{\text{у}}=0,0888 \text{ кг/с}$  и  $R_{\text{ст}}^{\text{у}}=875,95 \text{ Па/м}$  принимаем диаметр последнего циркуляционного стояка Ду 15.

Фактические потери давления в дальнем узле в режиме циркуляции

$$\Delta P = 1,1 \cdot 2 \cdot 900 \cdot 23,95 = 47421 \text{ Па (условие выполнено)}$$

### 2.3. Расчёт циркуляционного водопровода

Определяем расходы воды в трубопроводах в циркуляционном режиме и произвести гидравлический расчёт распределительного циркуляционного трубопровода.

Расчёт начинается с последнего участка распределительного трубопровода, циркуляционный расход воды на котором определён по дальнему водоразборному узлу. По циркуляционному расходу воды и удельным падениям давления находят диаметр на участке циркуляционной магистрали и фактические падения давления. При этом скорость движения воды в трубопроводах не должна превышать 3 м/с.

$$\Delta P_{ц}^i = R_{ц,тр}^{\partial} \cdot \ell_{ц,тр}^i \cdot K_3 \cdot K_M.$$

Потеря давления в подающем трубопроводе, на участке в циркуляционном режиме, могут быть определены из выражения

$$\frac{\Delta P_{под,i}^ц}{\Delta P_{под,i}^6} = \left( \frac{G_{ц,i}}{G_{6,i}} \right)^2.$$

Располагаемая разность давлений и циркуляционный расход воды в ближайшем (по сравнению с дальним) водоразборном узле составят:

$$\Delta P_{уз,i-1} = \Delta P_{ц,i} + \Delta P_{под,i}^ц + \Delta P_{уз,i};$$

$$G_{ц,i-1} = G_{ц,i} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{уз,i-1}}{\Delta P_{уз,i}}}.$$

Суммарный циркуляционный расход воды в распределительном трубопроводе, обслуживающем рассмотренные водоразборные узлы, будет равен

$$G_{ц,тр,i-1} = G_{ц,i-1} + G_{ц,i}.$$

Участок циркуляционного трубопровода от ЦТП до ближайшего ответвления рассчитывается по суммарному циркуляционному расходу воды и скорости движения воды не более 3 м/с

Определяем расход воды на последнем участке 9 – ЦТП

Расчётный расход с учётом поправки на циркуляцию рассчитывается по формулам:

$G_B$  л/с – расход в режиме водоразбора;

$G_{Ц,В}$  л/с – расход с учётом поправки на циркуляцию;

$$G_{Ц,В} = G_B (1 + k_{CIR}),$$

$k_{CIR}$  определяется по СП 30.1330-2016 в зависимости от отношения  $G_B / G_{Ц}$ ;

$$G_{Ц} = 1,3 * n * \Sigma Q_{тп} / (4187 * \Delta t_{доп.});$$

$n$  – число секционных узлов, присоединённых к участку;

$$G_{Ц} = 1,3 * 6 * 3156,26 / (4187 * 8,5) = 0,692 \text{ л/с.}$$

$$G_B / G_{Ц} = 2,66 / 0,692 = 3,84$$

$q/q_{CIR}^{\square}$	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1 и более
$k_{CIR}$	0,57	0,48	0,43	0,4	0,38	0,36	0,33	0,25	0,12	0,00

$k_{CIR}=0$ , следовательно,  $1+k_{CIR}=1$  и расчётный расход  $G_{Ц,В}=2,66$  л/с.

Расчёт циркуляционных магистралей

2'-3'

$$G_{\text{у}}^{\partial} = 0,0888 \text{ кг/с}$$

$$\Delta P_M = 0,6 * \Delta P_{\text{узл}}^{\text{Ц}} = 0,6 * 47421 = 28452,6 \text{ Па.}$$

$$R_{\text{уд}} = \Delta P_M / (1,1 * L_{\text{маг}}) = 28452,6 / (1,1 * 3,969) = 6517 \text{ Па/м.}$$

По диаграмме принимаем  $D_u 15$ ,  $R_d = 2700$  Па/м.

$$\Delta P_{\text{Ц}}^{2'-3'} = 900 * 1,1 * 2 * 3,969 = 7312,08 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{Ц}}^{\text{п}2'-3'} = \Delta P_{\text{п}}^{B 4-5} (G_{CIR}^{2'-3'} / G_B^{4-5})^2 = 40154,4 * (0,0888 / 0,91)^2 = 382 \text{ Па.}$$

3'-4'

$$\Delta P_{\text{уз}}^2 = \Delta P_{\text{уз}}^1 + \Delta P_{\text{Ц}}^{\text{п}2'-3'} + \Delta P_{\text{Ц}}^{2'-3'} = 47421 + 7318,02 + 382 = 55121,02 \text{ Па.}$$

$$G_{\text{Ц}}^{3-3'} = G_{\text{Ц}}^{1'-2'} * (\Delta P_{\text{уз}}^2 / \Delta P_{\text{уз}}^1)^{1/2} = 0,0888 * (55121,02 / 47421)^{1/2} = 0,096 \text{ л/с}$$

$$G_{\text{Ц}}^{3'-4'} = G_{\text{Ц}}^{2'-3'} + G_{\text{Ц}}^{3-3'} = 0,0888 + 0,096 = 0,184 \text{ л/с}$$

$$R_{\text{уд}} = 0,6 * 55121,02 / (1,1 * 10,95) = 2745 \text{ Па/м.}$$

По диаграмме принимаем  $D_u 20$ ,  $R_d = 1650$  Па/м.

$$\Delta P_{\text{Ц}}^{3'-4'} = 1650 * 1,1 * 2 * 10,95 = 39748,5 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{Ц}}^{\text{п}3'-4'} = \Delta P_{\text{п}}^{B 5-6} (G_{\text{Ц}}^{3'-4'} / G_B^{5-6})^2 = 90234 * (0,184 / 1,35)^2 = 1676,25 \text{ Па.}$$

4'-5'

$$\Delta P_{y3}^3 = \Delta P_{y3}^2 + \Delta P_{\Pi}^{3'-4'} + \Delta P_{\Pi}^{3'-4'} = 55121,02 + 39748,5 + 1676,25 = 95045,77 \text{ Па.}$$

$$G_{\Pi}^{4-4'} = n * G_{\Pi}^{1'-2'} * (\Delta P_{y3}^3 / \Delta P_{y3}^2)^{1/2} = 2 * 0,088 * (95045,77 / 55121,02)^{1/2} = 0,231 \text{ л/с}$$

$$G_{\Pi}^{4'-5'} = G_{\Pi}^{3'-4'} + G_{\Pi}^{4-4'} = 0,184 + 0,231 = 0,415 \text{ л/с}$$

$$R_{yд} = 0,5 * 95045,77 / (1,1 * 3,96) = 6000 \text{ Па/м.}$$

По диаграмме принимаем  $Dy$  20,  $R_d = 3000 \text{ Па/м.}$

$$\Delta P_{\Pi}^{4'-5'} = 3000 * 1,1 * 2 * 3,96 = 26136 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\Pi}^{4'-5'} = \Delta P_{\Pi}^{B 6-7} (G_{\Pi}^{4'-5'} / G_B^{6-7})^2 = 45021,6 * (0,415 / 1,71)^2 = 2651,7 \text{ Па.}$$

5'-6'

$$\Delta P_{y3}^4 = \Delta P_{y3}^3 + \Delta P_{\Pi}^{4'-5'} + \Delta P_{\Pi}^{4'-5'} = 95045,77 + 26136 + 2651,7 = 123833,47 \text{ Па}$$

$$G_{\Pi}^{5-5'} = n * G_{\Pi}^{1'-2'} * (\Delta P_{y3}^4 / \Delta P_{y3}^3)^{1/2} = 2 * 0,088 * (123833,47 / 95045,77)^{1/2} = 0,201 \text{ л/с}$$

$$G_{\Pi}^{5'-6'} = G_{\Pi}^{4'-5'} + G_{\Pi}^{5-5'} = 0,415 + 0,201 = 0,616 \text{ л/с}$$

$$R_{yд} = 0,5 * 123833,47 / (1,1 * 35,23) = 1597,72 \text{ Па/м.}$$

По диаграмме принимаем  $Dy$  25,  $R_d = 800 \text{ Па/м.}$

$$\Delta P_{\Pi}^{5'-6'} = 800 * 1,1 * 2 * 35,23 = 62004 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\Pi}^{5'-6'} = \Delta P_{\Pi}^{B 7-8} (G_{\Pi}^{5'-6'} / G_B^{7-8})^2 = 51576 * (0,616 / 2,05)^2 = 6291,67 \text{ Па.}$$

6'-7'

$$\Delta P_{y3}^5 = \Delta P_{y3}^4 + \Delta P_{\Pi}^{5'-6'} + \Delta P_{\Pi}^{5'-6'} = 123833,47 + 62004 + 6291,67 = 192129,14 \text{ Па}$$

$$G_{\Pi}^{6-6'} = n * G_{\Pi}^{1'-2'} * (\Delta P_{y3}^5 / \Delta P_{y3}^4)^{1/2} = 2 * 0,088 * (192129,14 / 123833,47)^{1/2} = 0,220 \text{ л/с}$$

$$G_{\Pi}^{6'-7'} = G_{\Pi}^{5'-6'} + G_{\Pi}^{6-6'} = 0,616 + 0,220 = 0,836 \text{ л/с}$$

$$R_{yд} = 0,5 * 192129,14 / (1,1 * 3,96) = 12500 \text{ Па/м.}$$

По диаграмме принимаем  $Dy$  32,  $R_d = 2300 \text{ Па/м.}$

$$\Delta P_{\Pi}^{6'-7'} = 2300 * 1,1 * 2 * 3,96 = 20037 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\Pi}^{6'-7'} = \Delta P_{\Pi}^{B 8-9} (G_{\Pi}^{6'-7'} / G_B^{8-9})^2 = 84643 * (0,836 / 2,37)^2 = 20068 \text{ Па.}$$

7'-ЦТП'

$$\Delta P_{y3}^6 = \Delta P_{y3}^5 + \Delta P_{\Pi}^{6'-7'} + \Delta P_{\Pi}^{6'-7'} = 192129,14 + 20037 + 20068 = 232228,14 \text{ Па.}$$

$$G_{\Pi}^{7-7'} = n * G_{\Pi}^{1'-2'} * (\Delta P_{y3}^6 / \Delta P_{y3}^5)^{1/2} = 2 * 0,088 * (232228,14 / 192129,14)^{1/2} = 0,193 \text{ л/с}$$

$$G_{\Pi}^{7'-ЦТП'} = G_{\Pi}^{6'-7'} + G_{\Pi}^{7-7'} = 0,836 + 0,193 = 1,029 \text{ л/с}$$

$$R_{yд} = 0,5 * 232228,14 / (1,1 * 29,39) = 3591 \text{ Па/м.}$$

По диаграмме принимаем  $Dy\ 50$ ,  $R_d = 400\ \text{Па/м}$ .

$$\Delta P_{\text{ц}}^{7\text{-ЦТП}} = 400 * 1,1 * 2 * 29,39 = 25863,2\ \text{Па}.$$

$$\Delta P_{\text{ц}}^{\text{п } 7\text{-ЦТП}} = \Delta P_{\text{п}}^{9\text{-ЦТП}} \left( G_{\text{ц}}^{7\text{-ЦТП}} / G_{\text{в}}^{9\text{-ЦТП}} \right)^2 = 84693 * (1,734 / 2,66)^2 = 35990\ \text{Па}.$$

Таблица 3.

Результаты гидравлического расчёта циркуляционных расходов в  
магистралах

Номер участка	Длина участка $\ell$ , м	Расход циркуляционной воды $G_{\text{ц}}$ , л/с	Диаметр участка циркуляционной магистрали $D_y$ , мм	Фактическое удельное падение давления $R_{\text{ц.тр}}$ , П/м	Падение давления по циркуляц. трубопроводам $\Delta P_{\text{ц.тр}}$ , Па	Падение давления по подающему трубопроводу $\Delta P_{\text{под}}^{\text{ц}}$ , Па
2'-3'	3,97	0,088	20	6517	7312	382
3'-4'	10,95	0,184	20	2745	39748	1676,25
4'-5'	3,97	0,415	25	6000	26136	2651,7
5'-6'	35,23	0,716	32	1597,72	62004	6291,67
6'-7'	3,97	1,154	32	12500	20037	20068
7'-ЦТП	29,39	1,734	50	3591	25863,2	35990
					181100,2	67059,62

Таблица 4

Результаты гидравлического расчёта циркуляционных расходов  
в водоразборных узлах

№ водоразборного узла	Падение давления в водоразборном	Расход циркуляционной воды в водоразборном

	узле Руз, Па	узле Гц.уз., л/с
1'-2'	28452,6	0,088
3-3'	55121,2	0,096
4-4'	95045,77	0,231
5-5'	123833,47	0,201
6-6'	192129,14	0,220
7-7'	232228,14	0,193

#### 2.4. Проверка гидравлической устойчивости системы

$$\Delta G = \frac{G_{\text{ц}}^{\phi} - n \cdot G_{\text{ц}}^{\partial}}{G_{\text{ц}}^{\phi}} \cdot 100 \leq 30\%$$

Суммарный гидравлический расход, рассчитанный выше, определим равным  $G_{\text{ц}}^{\text{II}} = 0,728 \text{ л/с}$ . Требуемый расход равен  $G_{\text{ц}}^{\text{II}}_{\text{ТР}} = 6 \times 0,088 = 0,528 \text{ л/с}$ .

Где 6 – число секционных узлов

$$\Delta G = \frac{0,728 - 6 \cdot 0,528}{0,728} \cdot 100 = 21 \leq 30\%$$

Относительное увеличение циркуляционного расхода составило 21%, что удовлетворяет условию  $\leq 30\%$ .

#### 2.5. Определение расхода воды в трубопроводах в циркуляционном режиме и гидравлический расчёт распределительного циркуляционного трубопровода

$$P_{\text{вод}} = P_{\text{геом}} + P_{\text{св}} + \sum \Delta P_{\text{под}}^{\text{с}} + 1,5 \Delta P_{\text{н.у}}^{\text{с}} + \Delta P_{\text{сч}};$$

где  $P_{\text{геом}} = 0,01H$ , МПа (H- геометрическая высота здания, м);

$P_{\text{св}}$ - свободный напор перед водоразборным прибором;

$\Delta P_{\text{н.у}}^{\text{с}}$  и  $\Delta P_{\text{н.у}}^{\text{ч}}$ - потери давления в водонагревательной установке (теплообменнике) в режимах водоразбора и циркуляции. Коэффициент 1,5

учитывает дополнительные потери в коммуникациях ЦТП. Ориентировочно  $\Delta P_{n,y}^6 = 0,1$  МПа;

$$\Delta P_{n,y}^u = \Delta P_{n,y}^6 \left( \frac{G_u}{G_B} \right)^2 ;$$

$\Delta P_{сч} = S \cdot G_6^2$ - падение давления в водомере по табл.4 [1];

$\Delta P_{уз}$ - потери давления в дальнем узле.

$$P_{геом} = 0,01H = 0,01 \cdot 25,2 = 0,253 \text{ МПа,}$$

где  $H$  – геометрическая высота здания;

$P_{своб} = 0,03$  МПа.

$\Delta P_{под}^{вод}$  – суммарные потери давления в подающих трубопроводах в режиме водоразбора, МПа.

$\Delta P_{в.у.}$  – потери давления в водонагревательной установке в режиме водоразбора, МПа. Принимаем 0,1 МПа.

Коэффициент 1,5 учитывает потери в коммуникациях.

$$\Delta P_{сч} = 264 \cdot 10^{-5} \cdot 2,66^2 = 0,0187 \text{ М} = 0,172 \text{ кПа}$$

Рассчитываем необходимое давление:

$$P_{вод} = 0,253 + 0,03 + 0,649 + 1,5 \cdot 0,1 + 0,172 = 1,112 \text{ МПа}$$

$$H_{вод} = 1112 / 9,81 = 113,35 \text{ м.}$$

Принимаем давление в водопроводе равное 60 м, тогда напор хозяйственного насоса должен составлять  $113,35 - 60 = 53,35$  м.

Рассчитываем потери давления в режиме циркуляции

$$\sum P = \sum \Delta P_u + \sum \Delta P_{под}^u + \Delta P_{уз} + 1,5 \cdot \Delta P_{n,y}^u,$$

□  $\Delta P_{ц}$  – суммарные потери давления в циркуляционной магистрали, Па.

□  $\Delta P_{под}^{ц}$  – суммарные потери давления в подающей магистрали в режиме циркуляции, Па.

$\Delta P_{уз}^{ц}$  – потери давления в расчётном узле в режиме циркуляции.

$\Delta P_{в.у.}^{ц}$  – потери давления в водонагревательной арматуре. Рассчитывается:

$$\Delta P_{n.y}^u = \Delta P_{n.y}^e \left( \frac{G_u}{G_B} \right)^2 ;$$

$$\Delta P_{n.y}^u = 0,1 \left( \frac{0,728}{2,66} \right)^2 = 0,075 \text{ МПа};$$

$\Delta P_{сч} = S \cdot G_e^2$ - падение давления в водомере по табл.4 [1];

$\Delta P_{уз}$ - потери давления в дальнем узле.

Итого имеем:  $\Delta P_{ц} = 181100 + 67059,62 + 47421 + 1,5 \cdot 75000 = 408080,62 \text{ Па}$

Значит, напор циркуляционного насоса должен быть не менее 41,6 м.

## 2.6. Определение максимального часового расхода воды на горячее водоснабжение

$$G_u = 0,005 \cdot g_{o,hч} \cdot \alpha_{hч} \cdot M^3 / ч$$

где  $g_{o,hч}$  – часовой расход горячей воды водоразборным прибором, л/ч, принимаемый

при одинаковых потребителях в зданиях или сооружениях  $g_{o,hч} = 200 \text{ л/ч}$  (по СП 30.1330-2016)

Величина  $\alpha_{hr}$  определяется по СП 30.1330-2016 по значению NP

Используя выражение вероятности P, отражающее среднесуточное включение водоразборного прибора в пик:

$$P = \frac{q_0^h \cdot 3600}{Q_{0,hr}}$$

Число санитарно-технических приборов. N = 384 шт.

Вероятность включения водоразборного прибора с секундным расходом в пик потребления равна  $P = 0,02083$

Секундный расход прибором  $q_0^h = 0,2 \text{ л/с}$ .

Рассчитываем вероятность включения прибора в пик потребления с часовым расходом:

$$P = 0,02083 \frac{3600 \cdot 0,2}{200} = 0,07498$$

$$NP = 384 \cdot 0,07498 = 28,79 \quad \alpha = 9,173$$

Определяем максимальный часовой расход горячей воды:

$$G_q = 0,005 \cdot g_{o,hx} \cdot \alpha_{hч} = 0,005 \cdot 200 \cdot 9,173 = 9,173 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

## 2.7. Средний часовой расход горячей воды за сутки

Определим средний часовой расход горячей воды за сутки максимального водопотребления, м<sup>3</sup>/ч, по формуле:

$$G_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^i g_{\text{чi}} \cdot U_i}{1000 \cdot T}$$

где  $g_{\text{ч}}$  - норма расхода горячей воды, л, одним потребителем в сутки при наибольшем водопотреблении, принимается по СП 30.1330-2016,

$T$  – расчётный период, ч.

$$G_{\text{ср}} = \frac{120 \cdot 576}{1000 \cdot 24} = 2,88 \text{ м}^3/\text{ч}$$

## 2.8. Средняя и максимальная часовая тепловая мощность (нагрузка) системы горячего водоснабжения.

Определим среднюю и максимальную часовую тепловую мощность системы горячего водоснабжения, Вт:

$K_{\text{тп}}$  – С изолированными стояками, с полотенцесушителем.

$$Q_{\text{ср}} = 1,16 \cdot G_{\text{ср}} (55 - t_x) + \sum Q_{\text{тп}};$$

$$Q_q = 1,16 \cdot G_q (55 - t_x) + \sum Q_{\text{тп}}$$

$\sum Q_{\text{тп}}$  - тепловые потери трубопроводами, определяемые.

$$Q_{\text{ср}} = 1,16 \cdot 2,88 \cdot (55 - 5) + 3156,26 = 3,32 \text{ кВт}$$

$$Q_q = 1,16 \cdot 9,173 (55 - 5) + 3156,26 = 3,69 \text{ кВт}$$

## 2.9. Коэффициент часовой неравномерности

Коэффициент часовой неравномерности

$$K_{\text{ч}} = Q_q / Q_{\text{ср}} = 3,69 / 3,32 = 1,12$$

### **3. Оборудование систем теплогазоснабжения**

*Сравнительные характеристики оборудования систем теплоснабжения, тепло- и паропроводов, снабжение потребителей природным газом и варианты автономного газоснабжения потребителей, борьбы с шумом и вибрацией. Разновидности и качество оборудования для систем ТГ и ТГУ. Конструкция и качества центробежных и осевых вентиляторов, насосов, компрессоров.*

*Подбор насосов, вентиляторов и другого оборудования систем ТГС.*

Системы ЦГВ следует предусматривать как правило с нижней разводкой. Верхняя разводка возможная не достаточном обосновании, например, при совместной прокладке с трубопроводами системы отопления.

Трубопроводы систем ГВ прокладываются с уклоном не менее 2% (2 мм на погонный метр) для опорожнения системы в случае необходимости. Конфигурация трубопроводов должна предусматривать компенсацию их температурного удлинения. В местах прохода через стены и перекрытия трубы заключается в стальные гильзы с заделкой зазора между трубой и гильзой уплотнительными материалами.

Все трубопроводы должны иметь свободный доступ и необходимые монтажные просветы для осмотра и ремонта.

Трубопроводы ГВ обязательно теплоизолируются. Тепловая изоляция предусматривается для падающих и циркуляционных трубопроводов, включая стояки, кроме подводок к водоразборным приборам, которая существует в виде водоразборных кранов и смесителей и конструкций для скрытой и открытой подводке воды.

Разрешается не изолировать стояки в отапливаемых помещениях. В помещениях с улучшенной отделкой допускается скрытая прокладка труб (подводка к водоразборным приборам за облицовкой стен или в полу).

Для систем ГВ применяются стальные оцинкованные или полимерные трубы. При диаметрах более 150 мм и в системах с непосредственным

водоразбором допускается применение не оцинкованных труб. Соединение трубопроводов - сварное, резьбовое и фланцевое (с фланцевой арматурой).

В ваннах и душевых комнатах предусматриваются постоянно действующие полотенцесушители. Полотенцесушители могут быть совмещены с циркуляционными трубопроводами. В системах с непосредственным водоразбором полотенцесушители могут подключаться к постоянно действующим системам отопления этих помещений.

Арматуру в системах ГВ разделяют на водоразборную и трубопроводную. К трубопроводной арматуре относят: задвижки, вентили регулирующие и предохранительные клапаны, направляющую арматуру. Изготавливают ее из стали серого и ковкого чугуна, бронзы и термостойких пластмасс на рабочее давление 1 МПа. Водоразборная арматура выполняется для разнообразных конструкций. Туалетные краны и смесители для умывальников и ванн изготавливают из цветных металлов. Краны и смесители для кухонных раковин из цветных металлов. Смесители для ванн имеют душевую сетку. Ванны и душевые комнаты оборудуют керамическими умывальниками.

В верхних точках системы предусматривается воздуховыпускная арматура, а в нижних устройства для опорожнения системы. В качестве воздуховыпускных устройств разрешается использовать водоразборную арматуру верхних этажей.

Запорная и регулирующая арматура предусматривается общего типа. Арматура диаметром до 50 мм включительно должна быть латунной, бронзовой или из термостойких пластмасс. Диафрагмы должны быть полимерными, латунными или из нержавеющей стали.

В местах водоразбора устанавливаются смесители с отдельной подводкой холодной и горячей воды. Смесители не устанавливаются в случае использования горячей воды без подмешивания холодной.

Запорная арматура устанавливается:

1) В квартальных или промышленных системах ГВ - на ответвлениях к каждому зданию.

2) На ответвлениях к секционным узлам.

3) В основании водоразборных и циркуляционных стояков в зданиях от трех этажей и более.

4) На ответвлении в каждую квартиру или помещение с водоразборными приборами.

5) На входе и выходе из водонагревателя.

Обратные клапаны устанавливаются:

1) На подводе горячей воды к смесителям групповых душей.

2) В закрытых системах - на подводке холодной воды к водонагревателю и на подключении циркуляционного трубопровода к водонагревателю.

3) В открытых системах - на ответвлении от обратного трубопровода тепловой сети к смесителю (регулятору температуры) и на подключении циркуляционного трубопровода к обратному трубопроводу тепловой сети.

Счетчики расхода воды (водомеры) устанавливаются:

1) В закрытых системах - на трубопроводе, подводящем холодную воду к водонагревателю.

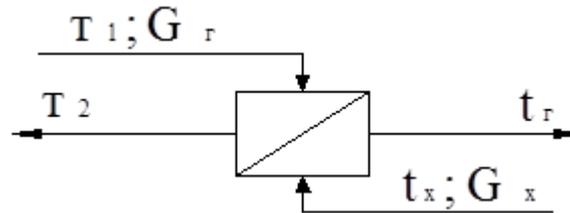
2) В открытых системах - на общем подающем трубопроводе после регулятора температуры и на циркуляционном трубопроводе перед его подключением к обратному трубопроводу теплосети. При наличии счетчиков воды на подающем и обратном трубопроводах тепловой сети счетчик воды в открытой системе ГВ может не ставиться

3) Во всех случаях, когда в общей системе ГВ производится отдельный учет и оплата за потребление горячей воды. Счетчик ставится на головном участке каждого такого элемента системы.

### **3.1 Расчёт теплообменников**

### 3.1.1 Выбор поверхности теплообменников (параллельная схема присоединения горячего водоснабжения, независимая схема присоединения систем отопления).

Простейшая схема



Блок-схема расчёта

$$Q^{макс}, \tau_1, \tau_2, t_2, t_x \rightarrow G_2^{макс}, G_x^{макс} \rightarrow f'_{mp}, f'_{mmp} \rightarrow \text{Тип теплообменника, т.е. } d_{mp},$$

$$d_{экв}, f_{mp}, f_{mmp}, F_{сек} \rightarrow V_{mp}, V_{mmp}, \rightarrow t_x^{cp}, \tau_2^{cp} \rightarrow \alpha_{mp}, \alpha_{mmp}, \rightarrow K \rightarrow \Delta t_{cp}^n \rightarrow F \rightarrow n_{сек}$$

$$\rightarrow \Delta P_{mp}, \Delta P_{mmp}.$$

Основные расчётные зависимости

$\tau_2$  принимаем из технико-экономических расчётов;

$$Q^{макс} = G_2^{макс} c(\tau_1 - \tau_2) = G_x^{макс} c(t_2 - t_x);$$

$$f'_{mp} = \frac{G_{mp}^{макс}}{1 \cdot \rho}; f'_{mmp} = \frac{G_{mmp}^{макс}}{1 \cdot \rho},$$

где 1 – ориентировочная скорость воды в трубках и межтрубном пространстве.

Тип теплообменника (из справочных данных, например, ГОСТ 27590-88) –

приложение 3 (т.е.  $d_{mp}, d_{экв}^{mmp}, f_{mp}, f_{mmp}, F_{сек}$ );

$$V_{mp} = \frac{G_{mp}^{макс}}{f_{mp} \cdot \rho}; V_{mmp} = \frac{G_{mmp}^{макс}}{f_{mmp} \cdot \rho}.$$

$$t_{cp} = \frac{t_2 + t_x}{2}; \tau_{cp} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot t_{cp} - 0,041 \cdot t_{cp}^2) \cdot \frac{V_{mp}^{0,8}}{d_{mp}^{0,2}} \text{ (при прохождении в трубках нагреваемой}$$

среды);

$$\alpha_{mmp} = \Phi(\tau_{cp}) \cdot \frac{V_{mmp}^m}{d_{\text{экв}}^{1-m}} \text{ (} m = 0,78 \text{ для гладких трубок, } m = 0,75 \text{ для профилированных}$$

трубок;  $\Phi(\tau_{cp})$  из таблицы ГОСТа 27590-88) – приложение 3;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{mp}} + \frac{\delta_{cm}}{\alpha_{cm}} + \frac{1}{\alpha_{mmp}}} = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{mmp}}}, \text{ где } \frac{\delta_{cm}}{\alpha_{cm}} \text{ можно пренебречь, ввиду малой}$$

величины;

$$\Delta t_{cp}^a = \frac{\delta t_{\delta} - \delta t_m}{\ln \frac{\delta t_{\delta}}{\delta t_m}}; F = \frac{Q_{\text{макс}}}{K \Delta t_{cp}^a}; n_{\text{сек}} = \frac{F}{F_{\text{сек}}};$$

$$\Delta P_{mp} = 6714 \cdot V_{mp}^2 \cdot n, [Па]; \Delta P_{mmp} = 28300 \cdot V_{mmp}^2 \cdot n, [Па].$$

### Пример расчёта

Подобрать водо-водяной скоростной теплообменник (ГОСТ 27590-88) (прил.2,3) для подогрева водопроводной воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, определить площадь поверхности нагрева ( $F$ ), число секций в теплообменнике ( $n_{\text{сек}}$ ) и потери давления по греющей и нагреваемой воде ( $\Delta P_{mp}, \Delta P_{mmp}$ ).

### Исходные данные:

$$Q_{\text{зб}}^{\text{макс}} = 1 \cdot 10^6 \text{ Вт}; \tau_1 = 70^{\circ} \text{C}; \tau_2 = 30^{\circ} \text{C}; t_2 = 65^{\circ} \text{C}; t_x = 5^{\circ} \text{C}.$$

### Расчёт:

$$G_z^{\text{макс}} = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(70 - 30)} = 21496 \text{ кг/ч}; G_x^{\text{макс}} = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(65 - 5)} = 14331 \text{ кг/ч}.$$

В теплообменниках ГВ в трубках проходит нагреваемая вода, в межтрубном пространстве – греющая, поэтому

$$f'_{mp} = \frac{14331}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0041 \text{ м}^2; f'_{мп} = \frac{21496}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0061 \text{ м}^2.$$

По ГОСТу 27590-88 выбираем тип подогревателя:

ПВ – 114 х 4 – 1,0 – РГ – 6 – УЗ с гладкими трубками,

$$d_{mp} = 0,014 \text{ м}; d_{экв} = 0,0155 \text{ м}; f_{mp} = 0,00293 \text{ м}^2; f_{мп} = 0,005 \text{ м}^2; F_{сек} = 3,58 \text{ м}^2$$

(число секций подсчитано ниже).

$$V_{mp} = \frac{14331}{0,00293 \cdot 975 \cdot 3600} = 1,393 \text{ м/с};$$

$$V_{мп} = \frac{21496}{0,005 \cdot 975 \cdot 3600} = 1,225 \text{ м/с};$$

$$t_{cp} = \frac{65 + 5}{2} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}; \tau_{cp} = \frac{70 + 30}{2} = 50 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot 35 - 0,041 \cdot 35^2) \frac{1,393^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 7113,3 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, \text{ } ^\circ\text{C})};$$

$$\alpha_{мп} = 4236 \frac{1,225^{0,78}}{0,0155^{0,22}} = 12411,48 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, \text{ } ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{7113,3} + \frac{1}{12411,48}} = 3863,6 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, \text{ } ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp}^n = \frac{25 - 5}{\ln \cdot \frac{25}{5}} = 12,43 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$F = \frac{1 \cdot 10^6}{3863,6 \cdot 12,43} = 20,82 \text{ м}^2;$$

$$n_{сек} = \frac{20,82}{3,58} = 5,82. \text{ Принимаем к установке } n_{сек} = 6 \text{ шт.}$$

$$\Delta P_{mp} = 6714 \cdot 1,393^2 \cdot 6 = 78169 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{мп} = 28300 \cdot 1,225^2 \cdot 6 = 254806 \text{ Па}.$$

В теплообменник, рассчитанный в примере, поступает греющая вода с  $\tau_1 = 150^\circ\text{C}$ . Определить расход греющей воды и температуру ее на выходе при той же тепловой нагрузке.

### Итерационный метод

Задаемся  $\tau_2 = 6,3^\circ\text{C}$ ;

$$G_2 = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(150 - 6,3)} = 5983 \text{ кг/ч};$$

$$t_{cp} = \frac{65 + 5}{2} = 35^\circ\text{C}; \quad \tau_{cp} = \frac{150 + 6,3}{2} = 78,15^\circ\text{C};$$

$$V_{mp} = \frac{14331}{0,00293 \cdot 975 \cdot 3600} = 1,393 \text{ м/с};$$

$$V_{mmp} = \frac{5983,6}{0,005 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,341 \text{ м/с};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot 35 - 0,041 \cdot 35^2) \cdot \frac{1,393^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 7670,9 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\alpha_{mmp} = 4700,9 \cdot \frac{0,341^{0,78}}{0,0155^{0,22}} = 5080 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{7670,9} + \frac{1}{5080}} = 2598,6 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{85 - 1,3}{\frac{8,5}{1,3}} = 20,02^\circ\text{C};$$

$$F' = \frac{1 \cdot 10^6}{2598,6 \cdot 20,02} = 19,22 \text{ м}^2;$$

$$\frac{F - F'}{F} = \frac{20,8 - 19,22}{20,8} = 0,076 \text{ (т.е. 7,6\%)}.$$

### Метод безразмерных комплексов

$$A = \frac{12,43}{\sqrt{(70 - 30)(65 - 5)}} = 0,254;$$

$$\varepsilon = \frac{65 - 5}{150 - 5} = 0,414.$$

Принимаем  $\theta = 2,4$  и определяем

$$Z = \frac{1-\theta}{A\sqrt{\theta}} = \frac{1-2,4}{0,254\sqrt{2,4}} = -3,558.$$

Проверяем

$$\varepsilon = \frac{l^{+z} - 1}{l^z - \theta}; \quad 0,414 = \frac{l^{-3,558} - 1}{l^{-3,558} - 2,4};$$

$$0,414 = 0,41$$

$$W_x = \frac{Q_{2\theta}^{max}}{65-5} = \frac{1 \cdot 10^6}{60} = 16666,7 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C};$$

$$W_2 = \frac{16666,7}{2,4} = 6944,4 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}; \quad \tau_2 = 150 - \frac{1 \cdot 10^6}{6944,4} = 150 - 144 = 6^{\circ}\text{C};$$

$$G_2 = \frac{1 \cdot 10^6}{1,163(150 - 6)} = 5971,15 \text{ кг/ч.}$$

### 3.1.2. Расчёт параметров при переменных режимах работы

Исходные данные:

- а) тип теплообменника и его поверхность  $F$ ;
- б) параметры нагреваемой среды и тепловая нагрузка:  $t_2, t_x, G_x$  и  $Q = G_x c(t_2 - t_x)$ .
- в) параметры греющей среды:  $\tau_1$  (из температурного графика регулирования) или  $G_2$  (из условия качественного регулирования).

Необходимо определить:  $\tau_2$  и  $G_2$  (или  $\tau_1$ )

Блок-схема расчёта и основные зависимости.

Итерационный метод

$$\text{Задаемся } \tau_2 \rightarrow G_2 = \frac{Q}{c(\tau_1 - \tau_2)} \left( \text{или } \tau_1 = \tau_2 - \frac{Q}{G_2 \cdot c} \right) \rightarrow t_{cp}, \tau_{cp} \rightarrow V_{mp}, V_{mmp} \rightarrow \alpha_{mp}, \alpha_{mmp}$$

$$\rightarrow K \rightarrow \Delta t_{cp} \rightarrow F' \rightarrow \frac{F - F'}{F} \leq \varepsilon,$$

если да, то расчёт закончен; если нет, то задаемся новым значением  $\tau_2$  и повторяем расчёт.

## Метод безразмерных комплексов

$$A = A^p = \frac{\sqrt{W_x^p \cdot W_2^p}}{K^p F} = \frac{\Delta t_{cp}^p}{\sqrt{(\tau_1 - \tau_2)(t_2 - t_x)}} \text{ (при расчётном режиме),}$$

↓

$$\varepsilon = \frac{t_2 - t_x}{\tau_1 - t_x} \text{ (при переменном режиме),}$$

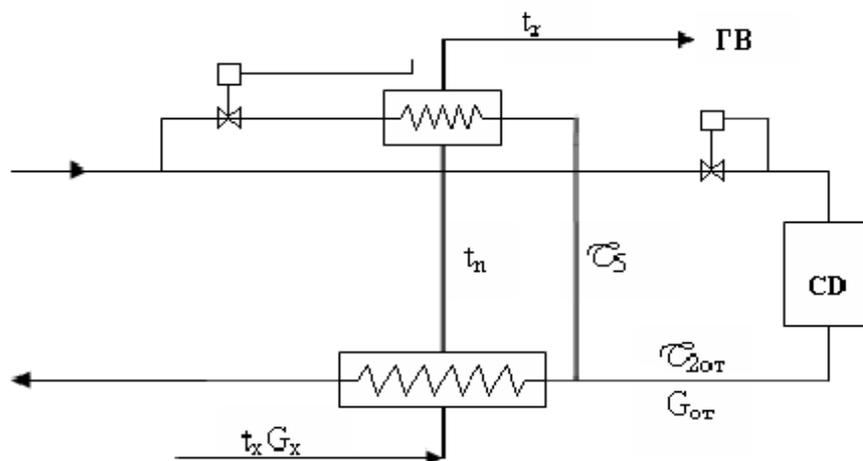
↓

$$\theta \text{ из уравнений } \varepsilon = \frac{l^z - 1}{l^z - \theta}, \quad Z = \frac{1 - \theta}{A\sqrt{\theta}};$$

↓

$$W_2 = \frac{W_x}{\theta} \rightarrow \tau_2 = \tau_1 - \frac{Q}{W_2} \rightarrow G_2 = \frac{Q}{c(\tau_1 - \tau_2)}.$$

### 3.1.3. Расчёт двухступенчатой смешанной схемы присоединения теплообменников горячего водоснабжения



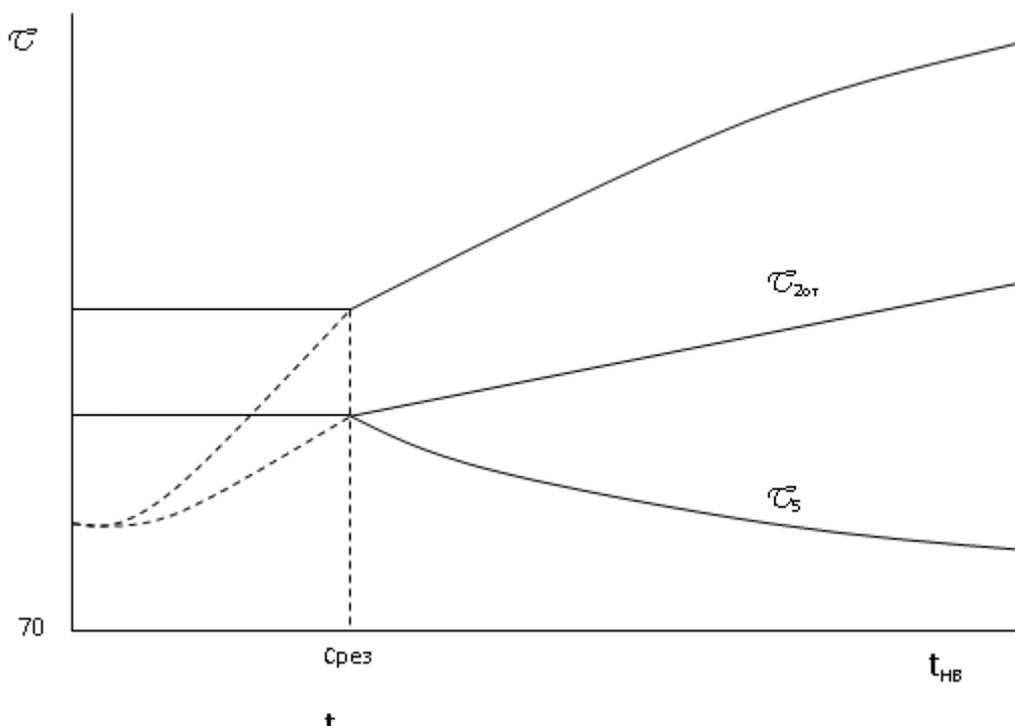


Рисунок.1. Графики изменения температур теплоносителей в теплообменнике

Схема применяется при отпуске теплоты по нормальному температурному графику, соответствующему качественному методу регулирования по отопительной нагрузке.

### Выбор поверхности теплообменников

Поверхности теплообменников определяются при  $Q_{\text{зб}}^{\text{макс}}$  и минимальной температуре исходной греющей среды, т.е.  $\tau_1 = 70^\circ\text{C}$ .

Исходные данные:

- температуры нагреваемой среды и максимальная нагрузка горячего водоснабжения:

$$t_2; t_x; Q_{\text{зб}}^{\text{макс}}.$$

- температуры воды в подающей магистрали, на выходе из систем отопления при  $t_{\text{н}}^{\text{срез}}$

и расход воды на отопление:

$$\tau_1; \tau_{2\text{от}}; G_{\text{от}}.$$

## Блок-схема расчёта

$$\text{Задаем: } \tau_5 = \tau_{2om} \rightarrow t_n = \tau_{2om} - 5^0 C \rightarrow G_x^{макс} = \frac{Q_{26}^{макс}}{c(t_2 - t_x)} \rightarrow Q_I = G_x^{макс} c(t_n - t_x) \rightarrow$$

$$Q_{II} = Q_{26}^{макс} - Q_I \rightarrow G_a^{II} = \frac{Q_{II}}{c(\tau_1 - \tau_5)} \rightarrow G_a^I = G_a^{II} + G_{om} \rightarrow \tau_k = \tau_2 - \frac{Q_I}{cG_a^I} \rightarrow f'_{mp}, (f'_{mmp})^I,$$

$$(f'_{mmp})^{II} \rightarrow \text{тип теплообменника (т.е. } d_{mp}, d_{экв}, f_{mp}, f_{mmp}, F_{сек} \text{)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{расчет I ступени} \\ \text{расчет II ступени} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} t^{cp}, \tau^{cp}, V_{mp}, V_{mn}, \alpha_{mp}, \alpha_{mmp}, K \\ \Delta t_{cp}^n, F, n \end{array} \right.$$

## Пример расчёта

### Исходные данные:

$$t_2 = 65^0 C; \quad t_x = 5^0 C, \quad Q_{26}^{макс} = 2,3 \text{ MВт}, \quad G_{26}^{макс} = 32960,7 \text{ кг/ч}; \quad \tau_1 = 70^0 C;$$

$$\tau_{2i\delta} = 42,5^0 \text{ } \tilde{N}; \quad G_{om} = 39558 \text{ кг/ч}.$$

### Расчёт:

$$\tau_5 = \tau_{2om} = 42^0 C; \quad t_n = 42,5 - 5 = 37,5^0 C$$

$$Q_I = G_{26}^{макс} c(t_n - t_x) = 32960,7 \cdot 1,163(37,5 - 5) = 1226665,4 \text{ Вт};$$

$$Q_{II} = Q_{26}^{макс} - Q_I = 2300000 - 1226665,4 = 1073334,6 \text{ Вт};$$

$$G_a^{II} = \frac{Q_{II}}{c(\tau_1 - \tau_{2i\delta})} = \frac{1073334,6}{1,163(70 - 42,5)} = 32960,8 \text{ кг/ч};$$

$$G_a^I = G_a^{II} + G_{i\delta} = 32960,8 + 39558 = 72518,8 \text{ кг/ч};$$

$$\tau_e = \tau_{2i\delta} - \frac{Q_I}{c \cdot G_a^I} = 42,5 - \frac{1226665,4}{1,163 \cdot 72518,8} = 27,5^0 C.$$

В теплообменниках ГВ в трубках проходит нагреваемая вода, в межтрубном пространстве – греющая, поэтому

$$f'_{\delta\delta} = \frac{G_a^{II}}{v \cdot \rho} = \frac{32960,7}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0094 \text{ м}^2;$$

$$(f'_{i\delta\delta})^I = \frac{G_a^I}{v \cdot \rho} = \frac{72518,8}{1 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,0207 \text{ м}^2;$$

$$(f'_{\text{ид}})'' = \frac{G_{\bar{a}}''}{v \cdot \rho} = \frac{32960,8}{1,975 \cdot 3600} = 0,0094 \text{ м}^2.$$

По ГОСТ 27590-88 выбираем тип подогревателя:

ПВ 219 х 4 – 1,0 – РП – или – УЗ с профилированными трубами

$$d_{mp} = 0,014 \text{ м}; d_{\text{экв}} = 0,0258 \text{ м}; f_{mp} = 0,00985 \text{ м}^2; f_{\text{мп}} = 0,02079 \text{ м}^2; F_{\text{сек}} = 11,51 \text{ м}^2;$$

(число секций определено ниже);

$$V_{mp} = \frac{G_2''}{f_{mp} \cdot \rho} = \frac{32960,7}{0,00985 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,953 \text{ м/с};$$

$$V_{\text{мп}}^I = \frac{G_2^I}{f_{\text{мп}} \cdot \rho} = \frac{72518,8}{0,02079 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,998 \text{ м/с};$$

$$V_{\text{мп}}^{II} = \frac{G_2^{II}}{f_{\text{мп}} \cdot \rho} = \frac{32960,8}{0,02079 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,4356 \text{ м/с}.$$

Расчёт I ступени:

$$t_{cp} = \frac{t_n + t_x}{2} = \frac{37 + 5}{2} = 21^{\circ}\text{C}; \quad \tau_{cp} = \frac{\tau_{2om} + \tau_k}{2} = \frac{42,5 + 27,5}{2} = 34,75^{\circ}\text{C};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21t_{cp} - 0,041t_{cp}^2) \cdot \frac{V_{mp}^{0,8}}{d_{mp}^{0,2}} = (1630 + 21 \cdot 21 - 0,041 \cdot 21^2) \cdot \frac{0,953^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 3968,4 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^{\circ}\text{C})};$$

$$\alpha_{\text{мп}} = \Phi(\tau_{cp}) \frac{V_{\text{мп}}^I}{d_{\text{экв}}} = 2750 \cdot \frac{0,998^{0,75}}{0,0258^{0,25}} = 6854 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^{\circ}\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{\text{мп}}}} = \frac{0,85}{\frac{1}{3968,4} + \frac{1}{6854}} = 2141,1 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^{\circ}\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_m}} = \frac{22,5 - 5}{\ln \frac{22,5}{5}} = 11,6^{\circ}\text{C};$$

$$F^I = \frac{Q_I}{K \Delta t_{\bar{o}}} = \frac{1226665,4}{2141,1 \cdot 11,6} = 49,4 \text{ м}^2;$$

$$n_{\text{сек}}^I = \frac{F^I}{F_{\text{сек}}} = \frac{49,4}{11,51} = 4,29. \text{ Принимаем к установке } n_{\text{сек}}^I = 5 \text{ шт.}$$

Расчёт II ступени:

$$t_{cp} = \frac{t_2 + t_{np}}{2} = \frac{65 + 37,5}{2} = 51 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \tau_{cp} = \frac{\tau_I + \tau_{2om}}{2} = \frac{70 + 42,5}{2} = 56 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21t_{cp} - 0,041t_{cp}^2) \frac{V_{mp}^{0,8}}{d_{mp}^{0,2}} = (1630 + 21 \cdot 51 - 0,041 \cdot 51^2) \cdot \frac{0,953^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 5863,34 \frac{\text{Bm}}{(\text{M}^2, ^\circ\text{C})}$$

$$\alpha_{мпм} = \Phi(\tau_{cp}) \frac{V_{мпм}^{II}}{d_{экв}^{0,25}} = 3135 \cdot \frac{0,4536^{0,75}}{0,0258^{0,25}} = 4334,1 \frac{\text{Bm}}{(\text{M}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{мпм}}} = \frac{0,85}{\frac{1}{5863,34} + \frac{1}{4334,1}} = 2125 \frac{\text{Bm}}{(\text{M}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp}^{II} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad F^{II} = \frac{Q_{II}}{K \Delta t_{cp}^{II}} = \frac{1073334,6}{2125 \cdot 5} = 101 \text{ } \text{M}^2;$$

$$n_{сек}^{II} = \frac{Q_{II}}{F_{сек}} = \frac{101}{11,51} = 8,7 \quad \text{Принимаем к установке } n_{сек}^{II} = 9 \text{ шт.}$$

### 3.1.4 Расчёт двухступенчатой смешанной схемы при переменных режимах работы

1) Известные исходные данные

- тип теплообменника и поверхности  $F^I$  и  $F^{II}$ ;
- параметры нагреваемой среды и тепловая нагрузка:  $t_x, t_2, G_x, Q_{2e} = G_x c(t_2 - t_x)$ ;
- температура греющей воды  $\tau_1$  (из температурного графика);
- расход воды на отопление и температура ее на выходе при  $\tau_1$ .

$$G_{om} \text{ и } \tau_{2om}, \text{ т.е. } Q_{om} = G_{om} c(\tau_1 - \tau_{2om}).$$

Необходимо определить:  $\tau_5, G_{II}, \tau_k, Q_I, Q_{II}$ .

2) Блок-схема расчёта при использовании итерационного метода.

Задаемся  $\tau_\kappa \rightarrow W_{mc} = \frac{Q_{om} + Q_{2\theta}}{\tau_1 + \tau_\kappa} \rightarrow W_{II} = W_{mc} - W_{om} \rightarrow$  задаемся  $\delta = 5 \div 20^\circ C \rightarrow$

$$\tau_2 = \frac{W_{mc}\tau_\kappa - W_x(t_x + \delta)}{W_{mc} - W_x} \rightarrow Q_I = W_{mc}(\tau_2 - \tau_\kappa) \rightarrow Q_{II} = Q_{2\theta} - Q_I \rightarrow \tau_5 = \tau_1 - \frac{Q_{II}}{W_{II}} \rightarrow$$

$$\tau_2^{cm} = \frac{W_{om} \cdot \tau_{2om} + W_{II} \cdot \tau_5}{W_{mc}} \rightarrow \frac{(\tau_2 - \tau_2^{cm})}{\tau_2} \leq \varepsilon,$$

если нет, то задаемся новым значением  $\delta$  и расчёт повторяем, если да, то

$$\rightarrow t_n = \tau_2 - \delta \rightarrow \text{расчёт I ступени: } t^{cp}, \tau^{cp}, V_{mp}, V_{mmp}, \alpha_{mp}, \alpha_{mmp}, K, \Delta t_{cp}^n, \frac{F'}{F} \rightarrow \leq \varepsilon,$$

если нет, то задаемся новым значением  $\tau_\kappa$  и повторяем расчёт; если да, то расчёт закончен.

### 3) Пример расчёта

В тепловой пункт, рассчитанный в примере задачи №6, поступает греющая вода с  $\tau_1 = 150^\circ C$ , при этом  $\tau_{2om} = 70^\circ C$  и  $W_{om} = 46006 \frac{Bm}{^\circ C}$ .

Определить параметры в схеме при той же тепловой нагрузке горячего водоснабжения и параметрах нагреваемой среды:

$$Q_{om} = W_{om}(\tau_1 - \tau_{2om}) = 46006(150 - 70) = 3,68 \cdot 10^6 \text{ Bm};$$

$$W_2 = G_{2\theta}^{max} c = 32960,7 \cdot 1,163 = 38333,3 \frac{Bm}{^\circ C} \quad \text{Задаемся } \tau_\kappa = 31^\circ C.$$

$$W_{mc} = \frac{(Q_{om} + Q_{2\theta}^{max}) \cdot 10^6}{\tau_1 - \tau_\kappa} = \frac{(3,68 + 2,3) \cdot 10^6}{150 - 31} = 50252 \frac{Bm}{^\circ C};$$

$$W_{II} = W_{mc} - W_{om} = 50252 - 46006 = 4246 \frac{Bm}{^\circ C};$$

Задаемся  $t_2 = 14^\circ C$ .

$$\tau_2 = \frac{W_{mc}c - W_2(t_x + t_2)}{W_{mc} - W_2} = \frac{50252 \cdot 31 - 38333,3(5 + 14)}{50252 - 38333,3} = 69,6^\circ C;$$

$$Q_I = W_{mc}(\tau_2 - \tau_\kappa) = 50252(69,6 - 31) = 1,9395 \cdot 10^6 \text{ Bm};$$

$$Q_{II} = (Q_{26}^{Макс} - Q_I) \cdot 10^6 = (2,3 - 1,9395) \cdot 10^6 = 0,3605 \cdot 10^6 \text{ Вт};$$

$$\tau_5 = \tau_1 - \frac{Q_{II}}{W_{II}} = 150 - \frac{0,3605 \cdot 10^6}{4246} = 65,1^\circ \text{C};$$

$$\tau_2^{сМ} = \frac{W_{om} \tau_{2om} + W_{II} \tau_5}{W_{mc}} = \frac{46006 \cdot 70 + 4246 \cdot 65,1}{50252} = 69,59^\circ \text{C}.$$

Так как  $\frac{69,6 - 69,59}{69,6} = 0,0001$  (т.е. меньше 0,05), то уточнять значение  $\delta$  не надо.

$$t_n = \tau_2^{сМ} - t_2 = 69,6 - 14 = 55,6^\circ \text{C}$$

Расчёт I ступени:

$$t_{cp} = \frac{t_x + t_n}{2} = \frac{5 + 55,6}{2} = 30,3^\circ \text{C}; \quad \tau_{cp} = \frac{\tau_2^{сМ} + \tau_{\kappa}}{2} = \frac{69,6 + 31}{2} = 50,3^\circ \text{C};$$

$$V_{mp} = \frac{G_{26}^{Макс}}{f_{mp} \rho} = \frac{32960,7}{0,00985 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,953 \text{ м/с};$$

$$V_{i\delta\delta} = \frac{G_{\delta\delta}}{f_{i\delta\delta} \rho} = \frac{43209}{0,02079 \cdot 975 \cdot 3600} = 0,592 \text{ м/с}; \quad G_{mc} = \frac{W_{mc}}{c} = \frac{50252}{1,163} = 43209 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$\alpha_{mp} = (1630 + 21 \cdot t_{cp} - 0,041 \cdot t_{cp}^2) \frac{V_{mp}^{0,8}}{d_{mp}^{0,2}} = (1630 + 21 \cdot 30,3 - 0,041 \cdot 30,3^2) \cdot \frac{0,953^{0,8}}{0,014^{0,2}} = 5242,9$$

$$\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})}$$

$$\alpha_{мп} = \Phi(\tau_{cp}) \frac{V_{мп}^{0,75}}{d_{экв}^{0,25}} = 2959,6 \frac{0,592^{0,75}}{0,0258^{0,25}} = 5602,7 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$K = \frac{0,85}{\frac{1}{\alpha_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{мп}}} = \frac{0,85}{\frac{1}{5242,9} + \frac{1}{5602,7}} = 2298,5 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2, ^\circ\text{C})};$$

$$\Delta t_{cp}^n = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}} = \frac{26 - 14}{\ln \frac{26}{14}} = 19,4^\circ \text{C};$$

$$F_I' = \frac{Q_I}{K\Delta t_{cp}} \frac{1,9395 \cdot 10^6}{2298,5 \cdot 19,4} = 43,5 \text{ м}^2.$$

Так как  $\frac{44,6 - 43,5}{44,6} = 0,024$  (т.е. меньше 0,05), то уточнять значение  $\tau_k$  не надо.

Расчёт II ступени не проводим, так как  $Q_{II} < Q_{II}^p$

$$Q_{II} = 0,3605 \cdot 10^6 \text{ Вт}, \text{ а } Q_{II}^p = 1,073 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

#### **4. Особенности эксплуатации систем теплогазоснабжения**

*Определение физического и морального износа, возмещение ущерба причиненного среде обитания при эксплуатации объектов.*

*Экономические задачи, определение целесообразности реконструкции систем ТГС и их модернизации.*

Оборудование систем централизованного теплоснабжения и их схемы должны выбираться из условий обеспечения бесперебойного теплоснабжения потребителей. Ущерб при нарушениях нормального теплоснабжения могут значительно превысить экономию капитальных затрат в случае отказа от резервирования теплоснабжения или мероприятий, обеспечивающих оперативное балансирование производства и потребления теплоты. Это связано с использованием аккумуляторов теплоты различного типа, а также аккумулирующей способности отапливаемых зданий. При исчислении затрат, связанных с авариями в СЦТ, необходимо учитывать не только стоимость ремонта поврежденного оборудования, но и затраты на возмещение ущерба потребителей, вызванного перерывом в подаче теплоты, а также отклонением параметров теплоносителя от договорных значений, т.е. нарушением качества теплоснабжения. Если затраты на компенсацию ущерба велики, то затраты на повышение надежности (резервирование и т.п.) могут быть оправданы. При этом необходимо тщательно анализировать сложившуюся ситуацию. Дополнительные затраты на резервирование могут повлечь за собой рост тарифов на тепловую энергию, а существенное повышение тарифов на теплоснабжение может вынудить потребителей отказаться от услуг энергоснабжающей организации по

теплоснабжению: потребители могут при наличии возможности присоединиться к другому источнику либо построить собственные источники теплоты (в том числе собственную мини-ТЭЦ), если это решение для них будет экономически более целесообразным. Поэтому вопросы нормирования и расчёта надёжности СЦТ требуют экономически оправданного решения. Для решения задач по расчёту надёжности теплоснабжения необходимо четко сформулировать общие понятия и определения свойств надёжности СЦТ и ее основных частей, опираясь на действующий ГОСТ 27.002-83 «Надёжность в технике. Термины и определения». В общем случае СЦТ состоит из следующих частей: источника или источников для выработки теплоты (ИТ); магистральных тепловых сетей с насосными (реже дроссельными) подстанциями для транспортировки тепловой энергии от источников теплоты до крупных жилых массивов, административно-общественных центров, промпредприятий и др.; распределительных тепловых сетей с ЦТП или РТП либо без них для распределения теплоты и подачи ее потребителям;

Теплоиспользующих установок с индивидуальными тепловыми пунктами (ИТП), в которых осуществляется конечное использование тепловой энергии для удовлетворения нужд потребителей. Каждая из указанных частей СЦТ представляет собой достаточно сложное инженерное сооружение. Эти части проектируются, строятся и эксплуатируются экономически самостоятельными предприятиями, которые сами определяют техническую и экономическую политику, согласовывая свои действия на границах эксплуатационной ответственности. В таких условиях целесообразно установить для каждой части СЦТ индивидуальные показатели и нормативы надёжности. Следовательно, показатели надёжности СЦТ в целом должны учитывать показатели надёжности отдельных частей всей системы. Прежде чем сформулировать (определить) эти показатели, необходимо дать определение понятию надёжности применительно к СЦТ в целом и её составным частям в отдельности. Под надёжностью СЦТ в целом и каждой из частей этой СЦТ (источника теплоты, магистральных и распределительных сетей, теплоиспользующих установок) следует

понимать способность СЦТ и каждой её части обеспечивать в течение заданного времени и в заданных количествах подачу теплоты (теплоносителя с заданными параметрами) в заданных режимах при условии выполнения эксплуатационного обслуживания, включая ремонты всех элементов каждой из частей СЦТ согласно утвержденному регламенту. Надежность является сложным свойством, состоящим из более простых свойств, таких как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

Потребители теплоты по надежности теплоснабжения делятся на три категории:

Первая категория - потребители, не допускающие перерывов в подаче расчетного количества

теплоты и снижения температуры воздуха в помещениях ниже предусмотренных ГОСТ 30494. Например:

больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, картинные галереи, химические и специальные производства, шахты и т.п.

Вторая категория - потребители, допускающие снижение температуры в отапливаемых помещениях

на период ликвидации аварии, но не более 54 ч:

- жилые и общественные здания до 12 °С;
- промышленные здания до 8 °С.

Третья категория - остальные потребители.

### **Пример 1:**

Определить допускаемое снижение подачи теплоты, % в зависимости от расчётной температуры наружного воздуха, руководствуясь табл. 1 СП 124.1330.2012.

Исходные данные:

Категория потребителя: третья;

Расчётная температура наружного воздуха:  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Решение:

При  $t_{\text{н}}=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  допустимое снижение 84 %

При  $t_{\text{н}}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  допустимое снижение 87 %

Следовательно при  $t_{\text{н}}=-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  допустимое снижение составит  $(84+87)/2=85,5\text{ }%$

### **Пример 2:**

Определить допустимое снижение подачи теплоты, % во время ремонтно-восстановительного периода для обеспечения внутренней температуры воздуха в помещениях не ниже  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от диаметра повреждённого трубопровода тепловой сети и температуры наружного воздуха, руководствуясь табл. 4 СП 124.1330.2012.

Исходные данные:

Категория потребителя: вторая;

Расчётная температура наружного воздуха:  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Диаметр повреждённого трубопровода: 500 мм.

При  $t_{\text{н}}=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  допустимое снижение 63 %

При  $t_{\text{н}}=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  допустимое снижение 70 %

Следовательно при  $t_{\text{н}}=-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  допустимое снижение составит  $(63+70)/2=66,5\text{ }%$ .

## **5. Основы проектирования теплогазоснабжения**

*Методы расчёта и подбора оборудования систем ТГ и ТГУ, использование баз данных по оборудованию и компьютерных комплексов проектирования. Оформление и согласование проекта.*

*Обзор компьютерных программ по проектированию и эксплуатации систем ТГС.*

Постоянно растёт количество и функциональность программных продуктов для расчётов сетей теплоснабжения. Выбор той или иной программы должен соответствовать возложенным задачам. Для начального обучения и решения

простых задач подходят демо-версии известных программ, которые свободно можно взять с сайтов производителей-представителей этих расчётно-графических комплексов. Не стоит тратить деньги вуза на покупку огромного числа лицензий, если базовое обучение можно провести и при помощи демонстрационных версий. Использование демо-версий в учебном процессе вузов никак не отражается на качестве обучения и не требует специального финансирования. Для выполнения более сложных задач, конечно же, потребуется полноценная версия программного продукта.

Универсальные расчётно-графические комплексы Zulu (компания Политерм, СПб) и ГРАСТ (Москва). Комплекс Zulu позволяет выполнять расчёты многих инженерных систем. Комплекс ГРАСТ подходит только под задачи теплоснабжения.

Для лучшего усвоения материала и понимания процессов студентам предлагается выполнять одинаковые задания в двух программах, и затем оценить полученный результат.

В рамках специализированных курсов необходимо разбирать элементарные задачи по теплоснабжению. Соблюдать принцип от простого к сложному. Это требуется для лучшего понимания процессов, происходящие в сетях и в ключевых точках системы. Компьютерная программа позволяет быстро пересчитывать системы на разные климатические параметры, изменения нагрузки и варианты подключения потребителей. Это очень важно для моделирования различных ситуаций в сетях теплоснабжения.

При освоении программ по расчёту тепловых сетей необходимо начинать с элементарного – один источник и один потребитель. На примере этого задания можно прочувствовать влияние изменения любого параметра на систему см. рис. 1.

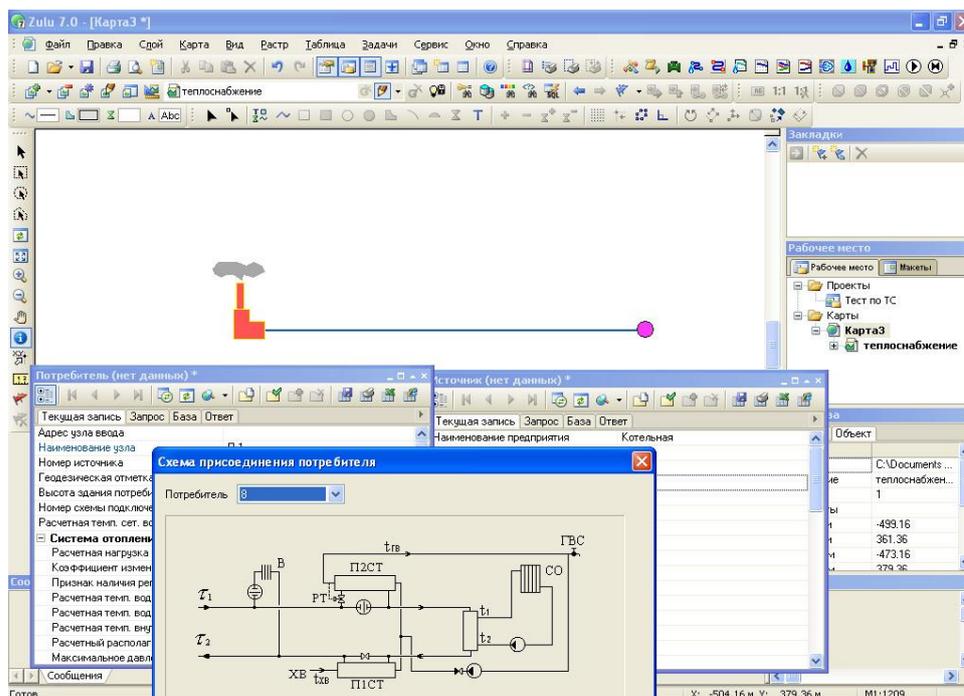


Рис. 1. Интерфейс программы Zulu 7.0 и расчёт элементарной схемы теплоснабжения (Один источник – один потребитель).

Аналогичная задача может быть решена и в других подобных программах. Обязательно нужно давать студенту возможность выполнять задание в разных программах. Это существенно расширяет кругозор, повышает качество обучения и полученные знания могут быть использованы для совершенствования программ.

По мере обучения задания усложняются. К примеру, можно рассчитать сеть с одним источником и тремя потребителями. Причём выполнить расчёты с использованием различных схем подключения потребителей к тепловой сети, по нескольким видам расчётов и разным тепловым нагрузкам. Когда студент освоит программу и самостоятельно сможет устранять ошибки при задании исходных данных, то можно переходить итоговому контрольному занятию.

На итоговом занятии преподаватель выдаёт задания по вариантам планировки кварталов, климатологии и нагрузкам. Привязку к вариантам заданий можно осуществлять по списочному номеру, номеру компьютера и т.д. Далее студент самостоятельно принимает решение по выбору схемы подключения потребителей и варианту трассировки сетей. После чего проводит все необходимые расчёты.

Рассмотрим примеры использования компьютерных программ для систем теплоснабжения по мере усложнения заданий

Таблица 5

Примеры заданий по теплоснабжению по мере усложнения

№ задания	Количество источников	Количество потребителей	Схемы подключения потребителей	Рельеф
1.	1	1	Зависимая, без ГВ	отсутствует
2.	1	1	Зависимая, открытая	отсутствует
3.	1	1	Зависимая, открытая	Присутствует
4.	1	3	Разные схемы подключения	Присутствует
5.	1	5	Разные схемы подключения	Присутствует

Студенту требуется самостоятельно установить на своём компьютере демонстрационную версию одной из компьютерных программ по расчёту сетей теплоснабжения (Zulu, ГРАСТ, Старт...) для самостоятельного изучения и с дальнейшей оценкой полученных результатов расчёта (проектирования).

### **Пример расчёта простейшей сети теплоснабжения в программе Zulu 7.0 Thermo**

**Исходные данные:**

### *Источник*

Источник теплоснабжения – котельная (К1)

Геодезическая отметка: 50 м.

### *Потребитель (П1)*

Высота здания: 9 м.

Геодезическая отметка: 55 м.

Располагаемый напор на вводе: 10 м.

Схема подключения потребителя:

СО – зависимая с общими параметрами с котельной 95-70 °С;

ГВ – независимая с одним теплообменником 60 °С.

Температура холодной воды 5 °С.

Расчётная температура наружного воздуха: -28 °С

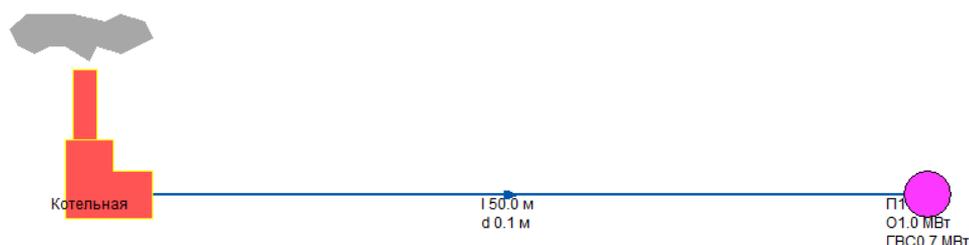
Расчётная тепловая нагрузка СО: 1 МВт

Расчётная тепловая нагрузка ГВ: 0,7 МВт

Длина сети: 50 м.

Необходимо выполнить конструкторский расчёт (определить диаметры участков сети).

На рис. 2 представлена расчётная схема простейшей сети теплоснабжения. На рис. 3 представлен пример схемы подключения потребителя к источнику теплоснабжения.



*Рис. 2. Расчётная схема простейшей сети теплоснабжения.*

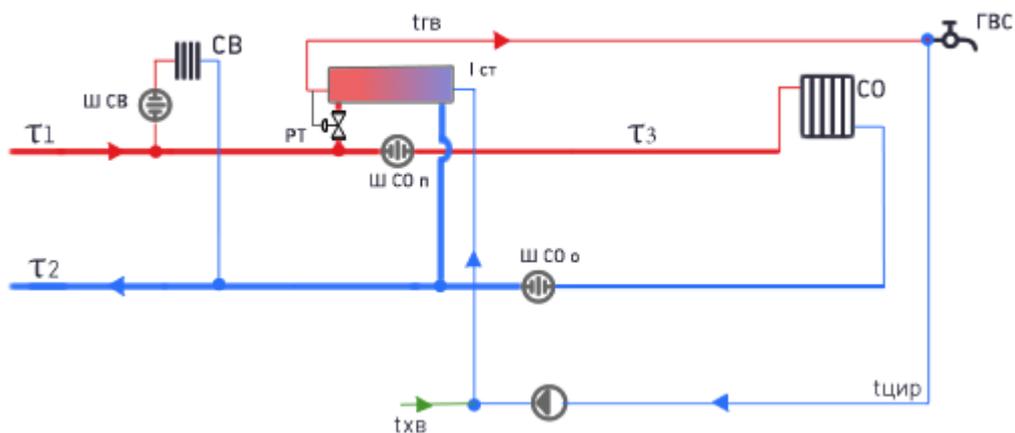


Рис. 3. Схема подключения потребителя к источнику теплоснабжения (Схема №28).

### Конструкторский расчёт. Результаты расчёта:

ЗулуТермо

ts

Слой...

Наладка Проверка Температурный график **Конструкторский** Надёжность Сервис От

Участок подключения 3

Сталь

Узел подключения

Располагаемый напор, м 10

Напор в обратном тр-де, м 20

Подбор диаметров

По скоростям

По удельным линейным потерям

Минимальный диаметр, м 0.03

Расход на потребителях

По расходам

По тепловым нагрузкам

t в подающем тр-де, С 95

t в обратном тр-де, С 70

t горячей воды, С 60

t холодной воды, С 5

Расчет Настройки Справка Закрыть

Рис. 4. Параметры для выполнения конструкторского расчёта.

Участки

Текущая запись Запрос База Ответ

Дополнительные потери тепла обр.тр-да, Вт	
Расход воды в подающем трубопроводе, т/ч	45.337
Расход воды в обратном трубопроводе, т/ч	-45.337
Потери напора в подающем трубопроводе, м	2.347
Потери напора в обратном трубопроводе, м	2.347
Удельные линейные потери напора в под.тр-де, м...	46.942
Удельные линейные потери напора в обр.тр-де, м...	46.942
Скорость движения воды в под.тр-де, м/с	1.645
Скорость движения воды в обр.тр-де, м/с	-1.645
Величина утечки из подающего трубопровода, т/ч	
Величина утечки из обратного трубопровода, т/ч	
Тепловые потери в подающем трубопроводе, Вт	
Тепловые потери в обратном трубопроводе, Вт	
Температура в начале участка под.тр-да, °С	
Температура в конце участка под.тр-да, °С	
Температура в начале участка обр.тр-да, °С	
Температура в конце участка обр.тр-да, °С	
Диаметр подающего тр-да (конструкторский), м	0.1
Диаметр обратного тр-да (конструкторский), м	0.1
Шероховатость под. тр-да (конструкторский), мм	1
Шероховатость обр. тр-да (конструкторский), мм	1
Оптимальная скорость в подающем (конструктор...	1.4
Оптимальная скорость в обратном (конструкторс...	1.4

Рис. 5. Результаты конструкторского расчёта.