

УДК 532.542

Применение термогидравлического распределителя в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения*

В.В. Сенников¹, А.А. Генварев¹, А.М.Смирнов¹, А.С. Магницкий¹, Ю.В. Яворовский²
¹ ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
Иваново, Российская Федерация

² ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)», Москва, Российская Федерация
E-mail: kbispu@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Технические решения по устранению влияния нагрузок горячего водоснабжения и вентиляции на расход сетевой воды на отопление потребителей, а также на изменение расхода сетевой воды на участках тепловой сети и на источниках тепла при эксплуатации тепловых сетей в настоящее время отсутствуют. В целях исключения влияния нагрузок горячего водоснабжения на нагрузки отопления предлагается применить термогидравлический распределитель в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения.

Материалы и методы: Для подтверждения точности расчетов математической модели термогидравлического распределителя и насосного узла смешения с частотно-регулируемым приводом проведены эксперименты.

Результаты: Предложена математическая модель термогидравлического распределителя и насосного узла смешения с частотно-регулируемым приводом. Показано, что установка термогидравлического распределителя обеспечивает требуемый температурно-влажностный режим помещений, а также постоянство расходов сетевой воды и воды на систему отопления при различных коэффициентах максимума расхода воды на горячее водоснабжение. По результатам проведенных расчетов построен график зависимости расхода сетевой воды и воды на отопление при изменяющемся расходе воды на горячее водоснабжение.

Выводы: Полученные результаты могут быть использованы в индивидуальных тепловых пунктах или центральных тепловых пунктах системы централизованного теплоснабжения для устранения влияния переменной нагрузки горячего водоснабжения на режимы работы системы отопления и вентиляции потребителей тепла. Установлено, что при использовании данной установки обеспечивается постоянство расхода сетевой воды.

Ключевые слова: термогидравлический распределитель, индивидуальный тепловой пункт.

Application of Thermal Hydraulic Distributor in Substations of District Heating Systems

V.V. Sennikov¹, A.A. Genvarev¹, A.M.Smirnov¹, A.S. Magnitskiy¹, Y.V. Yavorovskiy²

¹ Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation

² Moscow Power Engineering University (Technical Institute), Moscow, Russian Federation
E-mail: kbispu@mail.ru

Abstract

Background: Technical solutions to elimination of load influence of heat water supply and ventilation on the water consumption during the heating as well as changing the water consumption on parts of heating networks and on the heat resources at present time while heating networks are operated do not exist. To eliminate load influence of heat water supply it is suggested to use thermal hydraulic distributor in substations of district heating systems.

Materials and Methods: The experiments were carried out to confirm the accuracy of calculations of the mathematical model of thermal-hydraulic valve and pump unit mixing with frequency-controlled drive.

Results: A mathematical model of thermal-hydraulic valve and pump unit mixing with frequency-controlled drive is described. It is shown that the installation of thermal-hydraulic valve provides the required temperature and humidity conditions of consumers' premises, a constant cost of water mains and water heating system at different ratios of the maximum flow rate for hot water provides by using thermal-hydraulic valve. According to results of the calculations the graph of the delivery water flow and water heating in the changing water flow to the DHW was constructed.

Conclusions: The results can be used in individual heating plants or central points of thermal district heating system to eliminate the effect of the DHW variable load on modes of heating and ventilation heat consumers, constant flow of delivery water is provided by using this setting.

Key words: thermal-hydraulic distributor, individual heating plant.

* Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

При использовании современных котлов обеспечение постоянства расхода теплоносителя через котел и ограничение на минимально допустимую температуру теплоносителя в обратной линии перед котлом являются требованиями завода-изготовителя. Поэтому все более широкое применение в котельных, особенно при их реконструкции, находят схемы с использованием термогидравлического распределителя.

Термогидравлический распределитель (ТГР) – устройство, предназначенное для улучшения процесса регулирования отпуска тепловой энергии.

Практическое использование в котельных тепловых схем с ТГР позволяет обеспечить независимость контура источника от контуров потребителей, независимость расхода воды на систему отопления от изменения расхода на горячее водоснабжение (ГВС), а также повысить надежность теплоснабжения потребителей и снизить затраты энергоресурсов.

В централизованной системе теплоснабжения подключение потребителей через ТГР имеет и другие преимущества: потребителям будет отпущаться столько теплоты, сколько им необходимо для компенсации тепловых потерь зданием в данный момент. Невостребованное количество тепловой энергии через ТГР возвращается источнику.

Определение влияния нагрузки ГВС производится на основании характеристик теплообменных аппаратов [1, 2].

Для определения характера зависимости расхода сетевой воды и воды на систему отопления от изменяющейся нагрузки на ГВС при параллельном подключении нагрузки ГВС у потребителя воспользуемся следующей методикой.

Расчетное сопротивление на ГВС определяется по формуле

$$S_{gwsp} = \frac{\Delta H_{ГВС}}{G_{gwsp}^2}, \quad (1)$$

где $\Delta H_{ГВС}$ – потеря давления в системе ГВС.

Расчетное сопротивление на систему отопления рассчитывается как

$$S_{op} = \frac{\Delta H_o}{G_{op}^2} = \text{const}, \quad (2)$$

где ΔH_o – потеря давления в системе отопления.

Сопротивление источника теплоснабжения определяется по формуле

$$S_k = \frac{\Delta H_k}{G_k^2} = \text{const}, \quad (3)$$

где ΔH_k – потеря давления на источнике теплоснабжения.

Текущее сопротивление на ГВС составляет

$$S_{gwst} = S_{gwsp} C, \quad (4)$$

где $C = \text{const}$.

Текущее суммарное сопротивление потребителя при параллельном присоединении теплообменника ГВС рассчитывается по формуле

$$S_{cymt} = \frac{1}{\left(\frac{1}{S_{gwst}} + \frac{1}{S_o} \right)^2}. \quad (5)$$

Текущий суммарный расход воды составляет

$$G_{cymt} = \sqrt{\frac{H_n}{S_{cymt} + S_k}}, \quad (6)$$

где H_n – напор, создаваемый сетевым насосом.

Расход воды на систему отопления определяется по формуле

$$G_o = \sqrt{\frac{H_n - S_k G_{cymt}^2}{S_{op}}}. \quad (7)$$

На рис. 1 показаны расходы сетевой воды и воды на отопление при различных коэффициентах максимума расхода воды на ГВС.

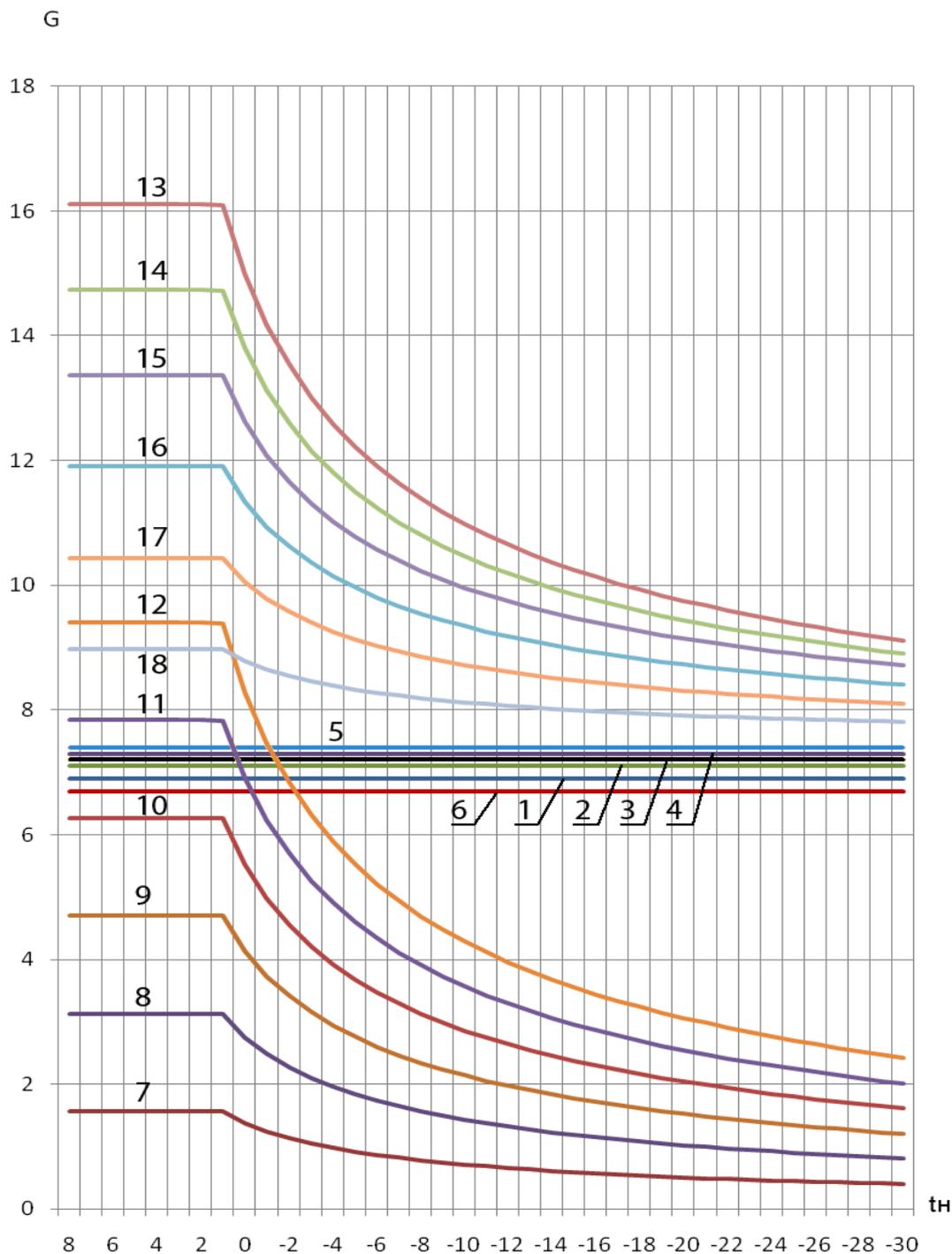


Рис. 1. Зависимости расхода воды на отопление и суммарного расхода воды при различных коэффициентах максимума расхода воды на ГВС: 1 – $G_o (k = 2)$; 2 – $G_o (k = 1,6)$; 3 – $G_o (k = 1,2)$; 4 – $G_o (k = 0,8)$; 5 – $G_o (k = 0,4)$; 6 – $G_o (k = 2,4)$; 7 – $k = 0,4$; 8 – $k = 0,8$; 9 – $k = 1,2$; 10 – $k = 1,6$; 11 – $k = 2$; 12 – G_{gws} ; 13 – $G_{cym} (k = 2,4)$; 14 – $G_{cym} (k = 2)$; 15 – $G_{cym} (k = 1,6)$; 16 – $G_{cym} (k = 1,2)$; 17 – $G_{cym} (k = 0,8)$; 18 – $G_{cym} (k = 0,4)$

Исключить взаимное влияние режимов работы системы ГВС на систему отопления абонентов, подключенных к ИТП по одноступенчатой схеме присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления при отсутствии регуляторов расходы теплоты на

отопление, возможно с помощью разработанных новых технических средств.

Ниже представлена математическая модель термогидравлического распределителя и насосного узла смешения с частотно-регулируемым приводом (ЧРП) (рис. 2).

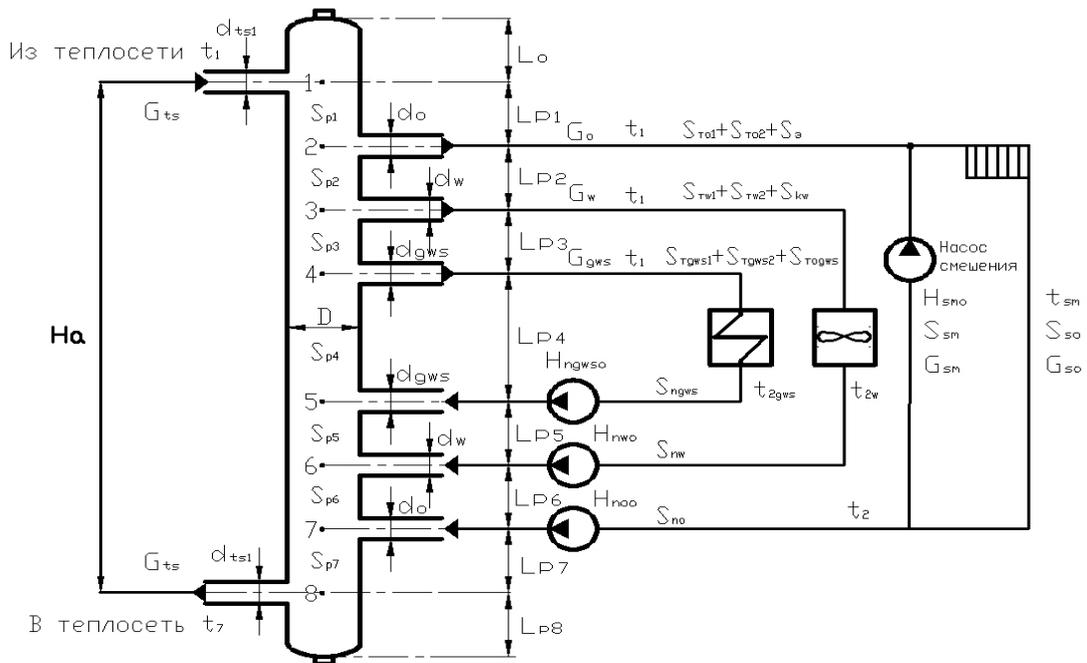


Рис. 2. Принципиальная схема термогидравлического распределителя с насосным узлом смешения

Уравнения потерь напора в контурах термогидравлического распределителя:

- внешний контур абонентского ввода:

$$S_{p1} G_{ts} |G_{ts}| + S_{p2} (G_{ts} - G_o) |G_{ts} - G_o| + S_{p3} (G_{ts} - G_o - G_w) |G_{ts} - G_o - G_w| + S_{p4} \times (G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}) |G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}| + (8) + S_{p5} (G_{ts} - G_o - G_w) |G_{ts} - G_o - G_w| + S_{p6} (G_{ts} - G_o) |G_{ts} - G_o| + S_{p7} G_{ts} |G_{ts}| - H_a = 0;$$

- контуры системы отопления:

$$(S_{to1} + S_{to2} + S_{no}) G_o |G_o| + H_{sm0} - S_{sm} G_{sm} |G_{sm}| - H_{no0} - S_{p6} (G_{ts} - G_o) \times |G_{ts} - G_o| - S_{p5} (G_{ts} - G_o - G_w) |G_{ts} - G_o - G_w| - S_{p4} (G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}) |G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}| - S_{p3} (G_{ts} - G_o - G_w) |G_{ts} - G_o - G_w| - S_{p2} (G_{ts} - G_o) |G_{ts} - G_o| = 0; \quad (9)$$

$$S_{so} G_{so} |G_{so}| + S_{sm} G_{sm} |G_{sm}| - H_{sm0} = 0; \quad (10)$$

- контур системы вентиляции:

$$(S_{tw1} + S_{tw2} + S_{kw} + S_{nw}) G_w |G_w| - H_{nw0} - S_{p5} (G_{ts} - G_o - G_w) |G_{ts} - G_o - G_w| - S_{p4} (G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}) |G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}| - S_{p3} (G_{ts} - G_o - G_w) |G_{ts} - G_o - G_w| = 0; \quad (11)$$

- контур системы ГВС:

$$(S_{tgws1} + S_{tgws2} + S_{togws} + S_{ngws}) G_{gws} |G_{gws}| - H_{ngws0} - S_{p4} (G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}) \times |G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws}| = 0. \quad (12)$$

Здесь G_{ts} – расход сетевой воды на абонентский ввод, т/ч; G_o – расход сетевой воды на систему отопления, т/ч; G_w – расход сетевой воды на систему вентиляции, т/ч; G_{gws} – расход сетевой воды на подогреватель горячего водоснабжения, т/ч; G_{sm} – расход сетевой воды, подмешиваемой из обратной в прямую в системе отопления, т/ч; G_{so} – расход сетевой воды через отопительную абонентскую систему, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p1} – сопротивление участка ТГР между точками 1 и 2, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p2} – сопротивление участка ТГР между точками 2 и 3, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p3} – сопротивление участка ТГР между точками 3 и 4, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p4} – сопротивление участка ТГР между точками 4 и 5, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p5} – сопротивление участка ТГР между точками 5 и 6, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p6} – сопротивление участка ТГР между точками 6 и 7, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{p7} – сопротивление участка ТГР между точками 7 и 8, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{to1} – сопротивление подводящего трубопровода к системе отопления, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{to2} – сопротивление отводящего трубопровода от системы отопления, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{no} – сопротивление проточной части насоса в системе отопления, м \cdot ч 2 /т 2 ; H_{no0} – напор насоса системы отопления при нулевой подаче, м.в.ст.; H_{sm0} – напор насоса смешения при нулевой подаче, м.в.ст.; S_{sm} – сопротивление проточной части насоса смешения системы отопления, м \cdot ч 2 /т 2 ; H_a – располагаемый напор на абонентском вводе, м.в.ст.; S_{tw1} – сопротивление подводящего трубопровода к системе вентиляции, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{tw2} – сопротивление отводящего трубопровода от системы вентиляции, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{kw} – сопротивление калорифера, м \cdot ч 2 /т 2 ; S_{nw} – сопротивление проточной части насоса системы вентиляции, м \cdot ч 2 /т 2 ; H_{sm0} – напор насоса системы венти-

ляции при нулевой подаче, м в.ст.; $S_{t_{gws1}}$ – сопротивление подводящего трубопровода к теплообменнику горячего водоснабжения, $\text{м}\cdot\text{ч}^2/\text{т}^2$; $S_{t_{gws2}}$ – сопротивление отводящего трубопровода от теплообменника горячего водоснабжения, $\text{м}\cdot\text{ч}^2/\text{т}^2$; S_{ngws} – сопротивление проточной части насоса системы горячего водоснабжения, $\text{м}\cdot\text{ч}^2/\text{т}^2$; H_{ngws0} – напор насоса системы горячего водоснабжения при нулевой подаче, м в.ст.

Плотность воды для точки 1 рассчитывается по формуле, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$\rho_1 = g_0 + t_1(g_1 + t_1(g_2 + t_1(g_3 + t_1(g_4 + t_1 g_5))))), \quad (13)$$

где $g_0 = 995,8220825$; $g_1 = 0,437826693$;

$$g_2 = -0,017837286$$
; $g_3 = 0,000160945$;

$$g_4 = -7,80001 \times 10^{-7}$$
; $g_5 = 1,43126 \times 10^{-9}$.

Плотности воды для точек 5, 6, 7, для воды в обратном трубопроводе от системы горячего водоснабжения, воды в обратном трубопроводе от системы вентиляции, воды в обратном трубопроводе от системы отопления рассчитываются по аналогичным формулам, т.е.

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = \rho_o = \rho_w = \rho_{gws}. \quad (14)$$

Коэффициент кинематической вязкости для точки 1 рассчитывается по формуле, $\text{м}^2/\text{с}$,

$$v_1 = k_0 + t_1(k_1 + t_1(k_2 + t_1(k_3 + t_1(k_4 + t_1(k_5 + t_1(k_6 + t_1(k_7 + t_1 k_8))))))), \quad (15)$$

где $k_0 = 1,779713 \times 10^{-6}$; $k_1 = -5,184625 \times 10^{-8}$;

$$k_2 = 7,802509 \times 10^{-10}$$
; $k_3 = -4,724096 \times 10^{-12}$;

$$k_4 = -8,575032 \times 10^{-15}$$
; $k_5 = 1,807215 \times 10^{-16}$;

$$k_6 = 4,3812 \times 10^{-20}$$
; $k_7 = -4,98252 \times 10^{-21}$;

$$k_8 = 1,25768 \times 10^{-23}$$
.

Коэффициент кинематической вязкости для точек 5, 6, 7, для воды в обратном трубопроводе от системы горячего водоснабжения, воды в обратном трубопроводе от системы вентиляции, воды в обратном трубопроводе от системы отопления рассчитывается по аналогичным формулам.

Теплоемкость для точки 1 рассчитывается по формуле

$$c_1 = k_{c0} + t_1(k_{c1} + t_1(k_{c2} + t_1(k_{c3} + t_1 k_{c4}))), \quad (16)$$

где $k_{c0} = 1,007631$; $k_{c1} = -5,70022 \times 10^{-4}$;

$$k_{c2} = 1,078437 \times 10^{-5}$$
; $k_{c3} = -6,592536 \times 10^{-8}$;

$$k_{c4} = 1,758197 \times 10^{-10}$$
.

Теплоемкость воды для точек 5, 6, 7, для воды в обратном трубопроводе от системы горячего водоснабжения, воды в обратном трубопроводе от системы вентиляции, воды в обратном трубопроводе от системы отопления рассчитываются по аналогичным формулам.

Уравнение теплового баланса в узле 5 имеет вид

$$(G_{ts} - G_o - G_w - G_{gws})c_1 t_1 + G_{gws} c_{2gws} t_{2gws} - (17)$$

$$-(G_{ts} - G_o - G_w)c_5 t_5 = 0.$$

Уравнение теплового баланса в узле 6

$$(G_{ts} - G_o - G_w)c_5 t_5 + G_w c_{2w} t_{2w} - (18)$$

$$-(G_{ts} - G_o)c_6 t_6 = 0.$$

Уравнение теплового баланса в узле 7

$$(G_{ts} - G_o)c_6 t_6 + G_o c_{2o} t_{2o} - G_{ts} c_1 t_1 = 0. \quad (19)$$

Уравнение теплового баланса в узле смешения системы отопления

$$G_o c_1 t_1 + G_{sm} c_{2o} t_{2o} - (G_o + G_{sm})c_{sm} t_{sm} = 0. \quad (20)$$

Расчет сопротивлений участков

$$S_{p1}, S_{p2}, S_{p3}, S_{p4}, S_{p5}, S_{p6}, S_{p7}, S_{to1}, S_{to2}, S_{tw1}, S_{tw2}, S_{t_{gws1}},$$

$S_{t_{gws2}}, S_{sm}, S_{so}$ выполняется по следующим формулам:

$$v = \frac{4G}{3,6\pi d^2 \gamma}; \quad (21)$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_3}{d} + \frac{68v}{|v|d} \right)^{0,25}; \quad (22)$$

$$S = \left(\frac{\lambda L}{d} + \sum \xi \right) \frac{8}{9,81(3,6\rho\pi d^2)^2}. \quad (23)$$

Потеря напора в системе отопления и соединительных трубопроводах равна, м в. ст.,

$$H_{so} = S_{so} G_{so}^2, \quad (24)$$

где S_{so} – сопротивление системы отопления и соединительных трубопроводов, $\text{м}\cdot\text{ч}^2/\text{т}^2$; G_{so} – расход сетевой воды через отопительную систему, т/ч.

Напор, создаваемый насосом смешения, определяется как, м в.ст.,

$$H_{nsm} = H_{n0} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 - S_n G_n^2, \quad (25)$$

где H_{n0} – напор, создаваемый насосом при нулевой подаче и базовом числе оборотов, м в.ст.; n_1 – изменяемое число оборотов рабочего колеса насоса, об/мин; n – базовое (нормативное) число оборотов насоса, об/мин; S_n – гидравлическое сопротивление проточной части насоса, $\text{м}\cdot\text{ч}^2/\text{т}^2$; G_n – расход сетевой воды, подмешиваемый из обратного трубопровода в подающий, т/ч.

Коэффициент смешения равен

$$U_{sm} = \frac{G_n}{G_{ts}}, \quad (26)$$

где G_{ts} – расход сетевой воды, поступающей из тепловой сети, т/ч.

Очевидно, что напор насоса смешения расходуется на преодоление сопротивления отопительной системы:

$$H_{nsm} = H_{so}. \quad (27)$$

Напор между подающим и обратным трубопроводами тепловой сети также равен напору насоса смешения за вычетом потерь напора в подающем и обратном трубопроводах:

$$H_a = H_{nsm} - (S_p + S_o)G_{ts}^2, \quad (28)$$

где S_p – сопротивление подводящего к узлу смешения трубопровода, м·ч²/т²; S_o – сопротивление отводящего от узла смешения трубопровода, м·ч²/т².

Уравнение баланса расходов в узле смешения имеет вид

$$G_{ts} + G_n - G_{so} = 0. \quad (29)$$

Так как по техническому требованию коэффициент смешения должен оставаться постоянным, то из (26) можно выразить

$$G_{ts} = \frac{G_n}{U_{sm}}. \quad (30)$$

Из уравнения (29) с подстановкой в него (30) можно найти G_{so} :

$$G_{so} = \frac{G_n}{U_{sm}} + G_n. \quad (31)$$

Уравнение (27) с подстановкой (24) и (25) имеет вид

$$H_{n0} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 - S_n G_n^2 = S_{so} G_{so}^2. \quad (32)$$

Уравнение (28) с подстановкой в него (25) имеет вид

$$H_a = H_{n0} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 - S_n G_n^2 + (S_p + S_o) G_{ts}^2. \quad (33)$$

Подставим в (32) выражение (31), а в (33) выражение (30), получим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} H_{n0} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 - S_n G_n^2 - S_{so} \left(\frac{1}{U_{sm}} + 1 \right)^2 G_n^2 &= 0, \\ H_{n0} \left(\frac{n_1}{n} \right)^2 - S_n G_n^2 + (S_p + S_o) \frac{G_n^2}{U_{sm}^2} - H_a &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

В системе уравнений (34) неизвестными являются n_1 и G_n .

Если из первого уравнения системы вычтем второе, то получим

$$-S_{so} \left(\frac{1}{U_{sm}} + 1 \right)^2 G_n^2 - (S_p + S_o) \frac{G_n^2}{U_{sm}^2} + H_a = 0. \quad (35)$$

Уравнение (35) можно разрешить относительно G_n . Тогда получим:

$$G_n = \sqrt{\frac{H_a}{S_{so} \left(\frac{1}{U_{sm}} + 1 \right)^2 + (S_p + S_o) \frac{1}{U_{sm}^2}}}; \quad (36)$$

$$n_1 = \frac{n G_n \sqrt{H_{n0} (S_n U_{sm}^2 + S_{so} + 2 S_{so} U_{sm} + S_{so} U_{sm}^2)}}{H_{n0} U_{sm}}. \quad (37)$$

По результатам проведенных расчетов построен график зависимости расхода сетевой воды и воды на отопление при изменяющемся расходе воды на ГВС (рис. 3).

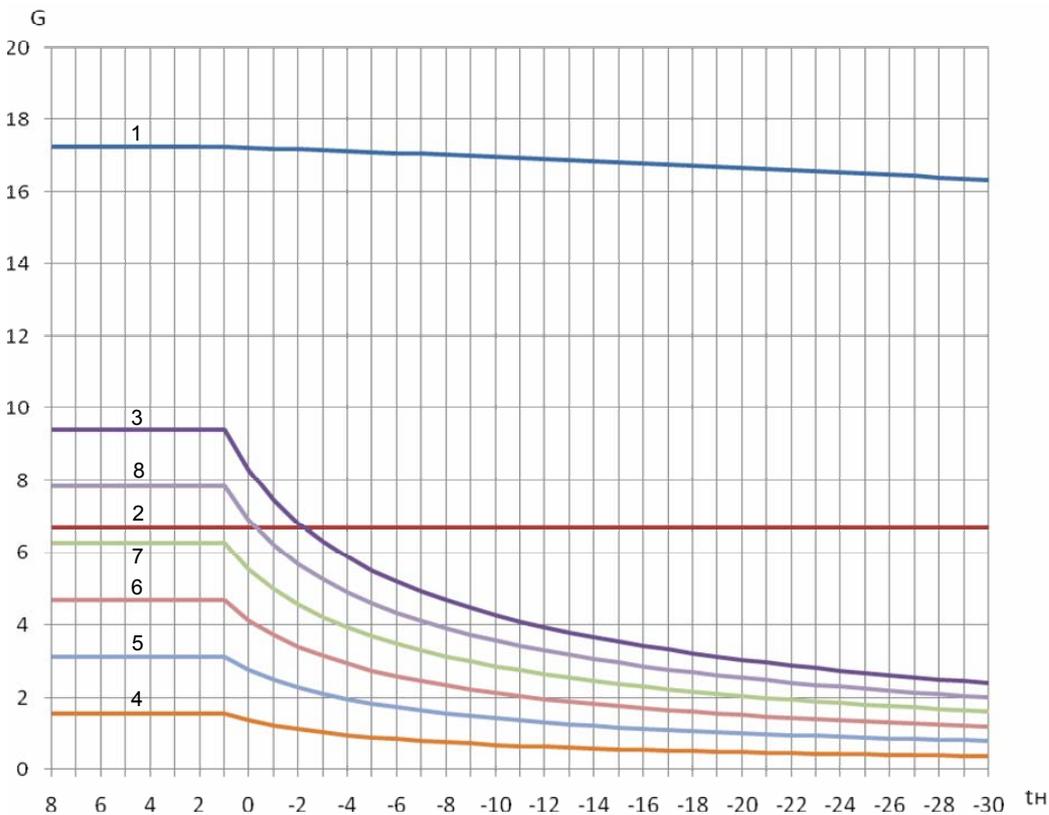


Рис. 3. Графики расходов сетевой воды, воды на отопление и ГВС с использованием ТГР: 1 – G_k ; 2 – G_o ; 3 – G_{gws} ; 4 – $k = 0,4$; 5 – $k = 0,8$; 6 – $k = 1,2$; 7 – $k = 1,6$; 8 – $k = 2$

Заключение

Результаты расчетов и анализ полученных графиков изменения основных параметров тепловой сети при совместной работе новых технических устройств доказывают эффективность применения термогидравлического распределителя. Так, суммарный расход воды, подаваемой абоненту с разнородной нагрузкой, остается практически неизменным, что обеспечивает надежную работу источника теплоснабжения, расход воды на систему отопления остается неизменным, что обеспечивает требуемый температурный режим помещения потребителя.

Применение ТГР позволяет решить вопрос теплоснабжения потребителей при значениях располагаемых напоров, не превышающих 0,5 м вод. ст., с минимальными энергозатратами.

В течение отопительного сезона 2011–2012 г. в ИТП «Гараж» ИГЭУ успешно испытан термогидравлический распределитель.

Сенников Владимир Васильевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики, адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. А, ауд. 128, телефон (4932) 26-97-24, e-mail: kbispu@mail.ru

Генварев Алексей Александрович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИС, адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. Б, ауд. 506, телефон (4932) 26-98-86, e-mail: kbispu@mail.ru

Смирнов Александр Михайлович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», отдел главного энергетика, главный механик, телефон (4932) 26-99-68.

Магницкий Андрей Станиславович,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики, адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. А, ауд. 128, телефон (4932) 26-97-24.

Яворовский Юрий Викторович,

ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)», доцент кафедры промышленных теплоэнергетических систем, адрес: г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, телефон (495) 362-75-53, e-mail: yvorovskyYV@mpei.ru

Список литературы

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.
2. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. – М.: Энергия, 1968. – 240 с.
3. Государственный контракт № 16.516.11.6089 от 8.07.2011 г. шифр «2011-1.6-516-037-030» «Исследование технических энергосберегающих устройств для тепловых сетей централизованного теплоснабжения» / В.П. Созинов, А.А. Генварев, В.В. Сенников и др.

References

1. Sokolov, E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [District Heat Supply and Heating System]. Moscow, MEI, 2001. 472 p.
2. Safonov, A.P. *Sbornik zadach po teplofikatsii i teplovym setyam* [Collected Tasks of District Heat Supply and Heating System]. Moscow, Energiya, 1968. 240 p.
3. Sozinov, V.P., Genvarev, A.A., Sennikov, V.V. *Gosudarstvennyy kontrakt № 16.516.11.6089 ot 8.07.2011 g. shifr «2011-1.6-516-037-030» «Issledovanie tekhnicheskikh energosberegayushchikh ustroystv dlya teplovykh setey tsentralizovannogo teplosnabzheniya»* [State Agreement № 16.516.11.6089 dated by July 8, 2011, Code «2011-1.6-516-037-030» «Research of Engineering Energy-efficient Devices for Heating Networks in District Heating»].