

Рафальская Т.А., Мансуров А.Р., Мансурова И.Р. Исследование переменных режимов работы систем централизованного теплоснабжения при качественно-количественном регулировании // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 79–91. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.07

Rafalskaya T.A., Mansurov A.R., Mansurova A.R. Investigation of variable modes of centralized heat supply systems operation with qualitative and quantitative regulation. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*. 2019. Vol. 10. No. 2. Pp. 79-91. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.07



**ВЕСТНИК ПНИПУ.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
Т. 10, № 2, 2019  
PNRPU BULLETIN.  
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**  
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.2.07

УДК 697.4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННОМ РЕГУЛИРОВАНИИ**

**Т.А. Рафальская, А.Р. Мансуров, И.Р. Мансурова**

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),  
Новосибирск, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 09 января 2019  
Принята: 25 февраля 2019  
Опубликована: 28 июня 2019

#### *Ключевые слова:*

система теплоснабжения, тепловые сети, качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки, система отопления, система горячего водоснабжения, температурный режим помещений.

### АННОТАЦИЯ

Комбинированный способ выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ был и остается наиболее эффективным способом топливосбережения как в жилищно-коммунальном хозяйстве, так и в промышленности. В России исторически был принят качественный способ регулирования, заключающийся в изменении температуры теплоносителя в зависимости от изменения температуры наружного воздуха при постоянном расходе теплоносителя. Анализ схем теплоснабжения ряда российских городов показал, что повсеместно практически прекратилось центральное качественное регулирование на источниках теплоты.

В современных методиках расчета качественно-количественного регулирования основной нагрузкой является отопление, а величина нагрузки горячего водоснабжения учитывается только увеличением расхода сетевой воды, при этом не проводится расчет переменных режимов совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения. Таким образом, в настоящее время отсутствуют методики расчета качественно-количественного регулирования, позволяющие полностью учесть влияние нагрузки горячего водоснабжения на работу систем отопления. Поэтому в современных условиях разработанные ранее методы и технологические приемы регулирования совмещенной тепловой нагрузки характеризуются снижением эффективности, и, соответственно, возникает задача их оптимизации.

Для различных температур наружного воздуха проводился расчет переменных режимов работы системы теплоснабжения, который показал, что существующие графики качественно-количественного регулирования не могут обеспечить комфортный температурный режим помещений.

В условиях связанной подачи теплоты простым сложением расходов сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение не удастся добиться оптимального теплового режима помещений. Поэтому требуется дальнейшее совершенствование технологий центрального качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки с учетом горячего водоснабжения.

© ПНИПУ

© **Рафальская Татьяна Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru.

**Мансуров Александр Рустамович** – магистрант, e-mail: aleksandr937@gmail.com.

**Мансурова Ирина Рустамовна** – студент, e-mail: rmansurov@inbox.ru.

**Tatyana A. Rafalskaya** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: rafalskaya.ta@yandex.ru.

**Alexander R. Mansurov** – Master Student, e-mail: aleksandr937@gmail.com.

**Irina R. Mansurova** – Student, e-mail: rmansurov@inbox.ru.

## **INVESTIGATION OF VARIABLE MODES OF CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS OPERATION WITH QUALITATIVE AND QUANTITATIVE REGULATION**

**T.A. Rafalskaya, A.R. Mansurov, A.R. Mansurova**

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),  
Novosibirsk, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 09 January 2019  
Accepted: 25 February 2019  
Published: 28 June 2019

#### *Keywords:*

heat supply system, heat networks, qualitative and quantitative regulation of heat load, heating system, hot water supply system, temperature regime of premises.

### ABSTRACT

The combined method of generating electric and heat energy at CHP plants has been and remains the most effective way of fuel saving both in housing and communal services and in industry. In Russia, historically, a qualitative method of regulation has been adopted, which consists in changing the temperature of the fluid depending on the change in the temperature of the outside air at a constant flow rate of the fluid. An analysis of the heat supply schemes of a number of Russian cities revealed that central quality regulation at heat sources has practically ceased everywhere.

In modern methods of calculating the qualitative and quantitative regulation, the main load is heating, and the load of hot water is taken into account only by increasing the flow rate of network water and the variable modes of joint operation of heating and hot water systems are not calculated. Thus, at present, there are no methods for calculating the qualitative and quantitative regulation, allowing to fully taking into account the effect of the load of hot water on the operation of heating systems. Therefore, in modern conditions, the previously developed methods and technological methods of controlling the combined heat load are characterized by a decrease in efficiency, and, accordingly, the problem of their optimization arises.

For different temperatures of outdoor air, the calculation of variable operating modes of the heat supply system was carried out, which showed that the existing schedules of qualitative and quantitative regulation cannot provide a comfortable temperature condition of the premises.

Under the conditions of a connected supply of heat, simply adding up the flows of network water for heating and hot water supply fails to achieve optimal thermal conditions for the premises. Therefore, further improvement of the technology of the central qualitative and quantitative regulation of the heat load taking into account hot water supply is required.

© PNRPU

---

## **Введение**

Основным методом центрального регулирования нагрузки в отечественных системах теплоснабжения на сегодняшний день является качественное регулирование путем изменения температуры теплоносителя при постоянстве его расхода. Стабильность гидравлического режима несколько упрощает эксплуатацию и повышает надежность тепловых сетей [1]. В то же время, в связи с кризисным состоянием систем централизованного теплоснабжения, применением срезов температурных графиков, качественное регулирование на теплоисточниках практически прекратилось [2, 3]. Кроме того, двухступенчатые схемы тепловых пунктов со связанной подачей теплоты позволяют значительно экономить тепловую энергию, но их работа невозможна в элеваторных системах отопления, что также нивелирует преимущества достаточно простого качественного способа центрального регулирования. Поэтому остро стоит вопрос о переходе на новые способы центрального регулирования тепловой нагрузки.

Способы качественно-количественного регулирования были разработаны в 50–60-е гг. XX в. Примерно в то же время были созданы методики их расчета [4–6]. Серьезным недостатком существующих методик расчета является то, что в них не учитывается влияние работы системы горячего водоснабжения на работу системы отопления, что объясняется тем,

что в 50-е гг. доля тепловой мощности горячего водоснабжения в общей тепловой мощности системы теплоснабжения была незначительной, что позволяло ее не учитывать.

Центральное количественное и качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки практически не получило распространения в отечественных системах теплоснабжения. В СНиП 2.04.07–86\* «Тепловые сети» в качестве основного способа рекомендовалось качественное регулирование. Поэтому в системах теплоснабжения за основной был принят качественный способ регулирования тепловой нагрузки и методики расчета качественно-количественного регулирования не уточнялись.

Позднее, в СНиП 41-02–2003 «Тепловые сети», было рекомендовано наряду с качественным применять качественно-количественное и количественное регулирование на источнике теплоты. В действующем СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» эта рекомендация остается актуальной.

Проведенный в работах [4, 5] анализ показывает, что системы водяного отопления имеют наилучшие показатели не при постоянном, а при переменном расходе воды в них, поскольку постоянный расход в течение всего отопительного периода не обеспечивает равномерного прогрева нагревательных приборов, расположенных на разных этажах. Разрегулировка систем при двухтрубной разводке объясняется наличием и влиянием гравитационного циркуляционного напора, а при однотрубной системе – переменной величиной коэффициента теплопередачи.

Соблюдение нормального теплового режима в течение всего отопительного сезона возможно как в двухтрубных, так и в однотрубных системах при качественно-количественном регулировании, применение которого рационально только в том случае, когда изменение расхода воды в системах будет происходить одновременно с изменением температуры наружного воздуха. В то же время предлагаются решения, в которых на теплоисточнике осуществлялось бы количественное регулирование тепловой нагрузки, а в местных независимых системах отопления поддерживался бы график качественного регулирования, например [7].

Переменный расход сетевой воды при качественно-количественном регулировании можно осуществить следующими способами: изменением числа оборотов насосов; изменением числа параллельно работающих насосов; установкой на теплоисточнике насосов с различными характеристиками [1, 8–10].

Необходимым условием эффективного применения качественно-количественного способа регулирования тепловой нагрузки является 100%-ная автоматизация тепловых пунктов [1], что определяет широкое распространение количественного и качественно-количественного регулирования в зарубежных системах теплоснабжения [11–15]. В большинстве зарубежных систем теплоснабжения температура воды в подающем трубопроводе тепловых сетей меняется в зависимости от температуры наружного воздуха, как правило, ступенями: 120–100–80 °С или 100–85–70 °С [11, 16]. Температурный график в г. Дрездене (Германия) состоит из семи ступеней. Внутри каждой ступени в зависимости от изменения нагрузки и наружной температуры меняется расход циркулирующего теплоносителя в зависимости от величины перепада давлений между подающим и обратным трубопроводами [16]. В Китае также применяются в основном системы с переменным расходом воды, как низкотемпературные, с температурой в подающей магистрали 75–65 °С [17], так и системы с достаточно высокой температурой 120–110 °С [18], а также ступенчатое регулирование [18]. В Дании в отопительный сезон температура воды в подающей магистрали постоянна на уровне 80 °С, в неотапливаемый – 65 °С [19].

В современных методиках расчета качественно-количественного регулирования [8, 20–23] основной нагрузкой является отопление, а величина нагрузки горячего водоснабжения учитывается только увеличением расхода сетевой воды, при этом не проводится расчет переменных режимов совместной работы систем отопления и горячего водоснабжения. Таким образом, в настоящее время отсутствуют методики расчета качественно-количественного регулирования, позволяющие полностью учесть влияние нагрузки горячего водоснабжения на работу систем отопления [8]. Также следует отметить, что в течение последних двух десятилетий значительно расширился перечень типов используемых отопительных приборов у абонентов и увеличилось количество потребителей с индивидуальным регулированием, что оказало существенное влияние на режимы функционирования как внутридомовых абонентских тепловых сетей, так и распределительных сетей в целом. Представляется очевидным, что в таких условиях разработанные ранее методы и технологические приемы регулирования совмещенной тепловой нагрузки характеризуются снижением эффективности, и, соответственно, возникает задача их оптимизации [24].

## 1. Основные расчетные зависимости

Возможность применения какого-либо способа регулирования тепловой нагрузки необходимо оценивать с точки зрения возможности обеспечить оптимальную температуру внутреннего воздуха в помещениях при допустимых ее колебаниях в зависимости как от изменения наружной температуры, так и от переменного водопотребления в системе горячего водоснабжения. С этой целью были произведены расчеты переменных режимов работы центрального теплового пункта ЦТП-ц41 по ул. Орджоникидзе в г. Новосибирске, с расчетной нагрузкой на отопление  $Q_{\text{оmax}} = 4,459$  МВт, на горячее водоснабжение  $Q_{\text{hm}} = 2,659$  МВт по методике, изложенной в [2], при различных графиках качественно-количественного регулирования.

1. В первую очередь был рассмотрен «классический» график качественно-количественного регулирования проф. Е.Я. Соколова [25], который был разработан в основном для высокотемпературного теплоснабжения, в частности для повсеместно применявшегося температурного перепада в тепловой сети 150/70 °С.

Температура воды в подающей магистрали тепловой сети

$$\tau_1(t_{\text{н}}) = t_{\text{вп}} + \Delta t_{\text{о}}^{\text{п}} \cdot (\bar{Q}_{\text{о}})^{1-\frac{n}{n+1}} + (\delta \tau_{\text{о}}^{\text{п}} - 0,5 \cdot \theta^{\text{п}}) \cdot \frac{\bar{Q}_{\text{о}}}{G_{\text{о}}}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{вп}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;  $\Delta t_{\text{о}}^{\text{п}}$  – температурный напор при смешении воды в смесительном устройстве теплового пункта (ТП), °С:

$$\Delta t_{\text{о}}^{\text{п}} = \frac{\tau_{\text{о3}}^{\text{п}} - \tau_{\text{о2}}^{\text{п}}}{2} - t_{\text{вп}}, \quad (2)$$

$\tau_{\text{о3}}^{\text{п}}$ ,  $\tau_{\text{о2}}^{\text{п}}$  – расчетные температуры в подающей и обратной магистрали системы отопления, °С;  $\bar{Q}_{\text{о}} = Q_{\text{о}} / Q_{\text{оmax}}$  – относительная тепловая мощность системы отопления;  $\delta \tau_{\text{о}}^{\text{п}}$  – расчетная разность температур сетевой воды, °С;

$$\delta \tau_0^p = \tau_1^p - \tau_{o2}^p, \quad (3)$$

$\tau_1^p$  – расчетная температура воды в подающей магистрали тепловой сети, °С;  $\theta^p$  – расчетный перепад температур в системе отопления, °С:

$$\theta^p = \tau_{o3}^p - \tau_{o2}^p, \quad (4)$$

$\bar{G}_o = \bar{Q}_o^n$  – относительный расход в системе отопления;  $n = 0,25$  для однотрубных систем отопления [25] – эмпирический коэффициент, таким образом,

$$\tau_1(t_h) = t_{bp} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o)^{0,8} + (\delta \tau_0^p - 0,5 \cdot \theta^p) \cdot \bar{Q}_o^{0,75}; \quad (5)$$

температура воды в обратной магистрали системы отопления

$$\tau_{o2}(t_h) = t_{bp} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta^p \cdot \bar{Q}_o^{0,75}. \quad (6)$$

2. В настоящее время часто идет речь о переходе на низкотемпературное теплоснабжение без верхней срезки температурного графика. Поэтому закономерности (5), (6), предложенные Е.Я. Соколовым [25], применялись для расчета качественно-количественного регулирования при расчетной температуре в подающей магистрали тепловой сети  $\tau_{1p} = 114$  °С (температура верхней срезки для г. Новосибирска). Однако, как показало проведенное исследование (см. далее), просто снизить температуру в подающей магистрали, применив те же законы регулирования, недостаточно, поскольку существенно изменятся режимы работы системы теплоснабжения, что может вызвать неблагоприятное снижение температуры внутреннего воздуха.

3. График качественно-количественного регулирования В.К. Дюскина [4].

Температура воды в подающей магистрали тепловой сети

$$\tau_1(t_h) = t_{bp} + \left[ \frac{\tau_1^p + (2u_p + 1)\tau_{o2}^p}{2(u_p + 1)} - t_{bp} \right] (\bar{Q}_o)^{0,8} + \frac{(2u_p + 1)(\tau_1^p - \tau_{o2}^p)(t_{bp} - t_h)}{[2(u_p + 1)](t_{bp} - t_{ho})P}, \quad (7)$$

где  $u_p$  – расчетный коэффициент смешения в смесительном устройстве ТП,

$$u_p = \frac{\tau_1^p - \tau_{o3}^p}{\tau_{o3}^p - \tau_{o2}^p}, \quad (8)$$

$P$  – коэффициент изменения расхода воды в системе отопления в зависимости от наружной температуры,

$$P(t_h) = \frac{(50u_p + 25)t_h - 900u_p - 450}{4050 - 129t_h - 96\tau_{o3}}. \quad (9)$$

4. В исследованиях В.И. Панферова, Ю.Н. Денисенко [20, 21] были получены показатели степени  $n$  для большого числа различных типов применяемых в настоящее время отопительных приборов; для большинства современных приборов  $n > 0,25$ , что отражает экспоненциальную зависимость изменения теплоотдачи нагревательного прибора в зависимости от температуры теплоносителя (в отличие от линейной [25]) и учитывает переменный коэффициент смешения.

Для оптимального значения  $n = 0,505$  графики температур будут определяться следующими уравнениями:

– температура воды в подающей магистрали тепловой сети

$$\tau_1(t_H) = t_{\text{вп}} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o)^{0,505} + (\delta \tau_o^p - 0,5 \cdot \theta^p) \cdot \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o}, \quad (10)$$

где  $\bar{G}_o = \bar{Q}_o^{0,66}$ ;

– температура воды в обратной магистрали системы отопления

$$\tau_{o2}(t_H) = t_{\text{вп}} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o)^{0,505} - 0,5 \cdot \theta^p \cdot \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o}. \quad (11)$$

5. В.Ф. Гершковичем [22] был предложен так называемый криволинейный график, кривизна которого отражает экспоненциальную зависимость теплоотдачи отопительного прибора от разности температур на его поверхности:

$$\tau_1(t_H) = 16,1 + 139,7 \cdot \bar{Q}_o - 38,4 \cdot \bar{Q}_o^2. \quad (12)$$

6. График качественно-количественного регулирования В.И. Шарапова, П.В. Ротова [8] представляет собой зонированный график, где при низких наружных температурах производится чисто количественное регулирование, в средней части графика – качественное регулирование и в переходном диапазоне отопительного периода – снова количественное регулирование тепловой нагрузки.

Для диапазона низких температур и переходного периода (количественное регулирование)  $\tau_1(t_H) = \text{const}$  температура воды в обратной магистрали системы отопления

$$\tau_{o2}(t_H) = \tau_1^p - \delta \tau_o^p \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o}, \quad (13)$$

где относительный расход сетевой воды для системы отопления

$$\bar{G}_o(t_H) = \frac{\bar{Q}_o}{1 + \frac{\Delta t_o^p}{\delta \tau_o^p - 0,5 \cdot \theta^p} (1 - \bar{Q}_o^{0,8})}. \quad (14)$$

Для диапазона качественного регулирования тепловой нагрузки:

– температура воды в подающей магистрали тепловой сети

$$\tau_1(t_H) = t_{\text{вп}} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o)^{0,8} + (\delta \tau_o^p - 0,5 \cdot \theta^p) \cdot \bar{Q}_o, \quad (15)$$

– температура воды в обратной магистрали системы отопления

$$\tau_{o2}(t_H) = t_{\text{вп}} + \Delta t_o^p \cdot (\bar{Q}_o)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta^p \cdot \bar{Q}_o. \quad (16)$$

## 2. Результаты расчета режимов работы ЦТП

Переменные режимы работы ЦТП рассчитывались для каждого температурного графика. На рис. 1 показаны графики температур воды в подающей магистрали теплосети  $\tau_1$ , в обратной магистрали системы отопления  $\tau_{o2}$  и возвращаемой в тепловую сеть после нижней ступени подогревателя горячего водоснабжения  $\tau_2$  в течение отопительного периода,  $\tau_{o1}$  – температура воды по отопительному графику (цифры – номера вариантов).

Чем ниже температура воды в подающей магистрали теплосети, определяемая, в частности, показателем  $n$ , зависящим от теплоотдачи отопительных приборов, тем больший потребуются расход сетевой воды. При этом можно заметить, что в графике 2 низкотемпературного теплоснабжения [25] наблюдается самый меньший перепад температур в подающей и обратной магистралях и, соответственно, максимальный расход сетевой воды  $G_d$  (рис. 2). В высокотемпературном графике 1 [25] температурный перепад наибольший. График б [8] является ступенчатым, поэтому расход сетевой воды также меняется ступенями, но температура воды, возвращаемой в тепловую сеть в первом диапазоне температур (переходный период отопительного сезона),  $\tau_2$  выше температуры обратной воды после системы отопления  $\tau_{o2}$ , что говорит о нерациональном использовании тепловой энергии.

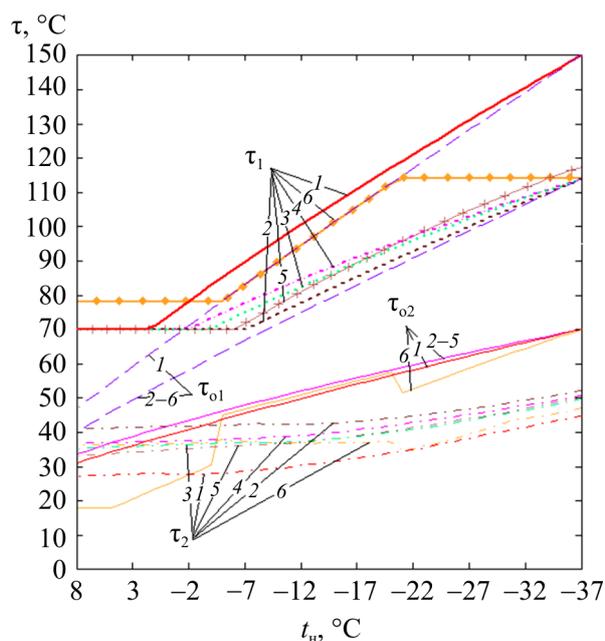


Рис. 1. Температура теплосетевой воды  
Fig. 1. Heat network temperature

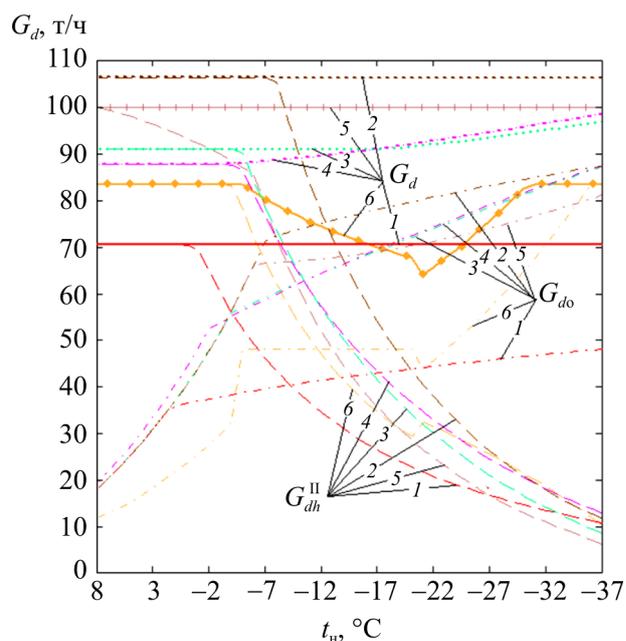


Рис. 2. Расходы сетевой воды  
Fig. 2. Heat network flows

В двухступенчатых схемах присоединения подогревателей горячего водоснабжения реализована связанная подача теплоты, т.е. на теплообменник горячего водоснабжения второй ступени идет расход сетевой воды  $G_d^{II}$ , превышающий расход, подаваемый тепловой сетью на горячее водоснабжение в период максимального водопотребления (см. рис. 2). При этом система отопления недополучает необходимый расход сетевой воды  $G_{do}$  и работает за счет подмешивания воды из обратной магистрали.

Количество теплоты, Вт, поступающей в систему отопления в периоды максимального водопотребления, можно определить по формуле

$$Q_{do}^d = \frac{c}{3600} (G_d - G_{dh}^{\text{II}}) (\tau_1 - \tau_{o2}), \quad (17)$$

где  $c$  – теплоемкость воды, Дж/(кг·°C).

Требуемое  $Q_{do}^{\text{TP}}$  и действительное  $Q_{do}^d$  количество теплоты, поступающее в систему отопления при максимальном водопотреблении в течение отопительного периода для каждого графика, показано на рис. 3.

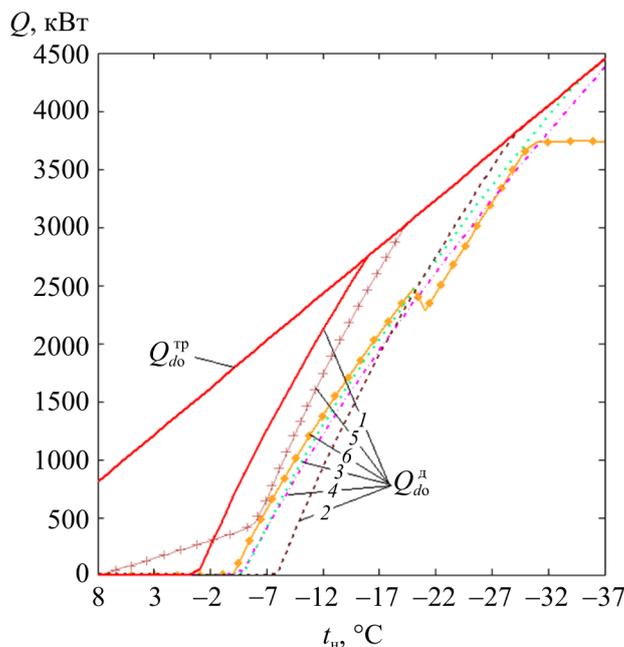


Рис. 3. Количество теплоты, поступающей в систему отопления при максимальном водопотреблении в системе горячего водоснабжения

Fig. 3. The amount of heat entering the heating system at maximum water consumption in the hot water supply system

Количество теплоты, поступающей в систему отопления в зависимости от наружной температуры и времени суток (режима водопотребления в системе горячего водоснабжения), определяет температуру внутреннего воздуха в помещениях.

### 3. Расчет внутренней температуры помещений

Для расчета внутренней температуры помещений рассматривались четыре диапазона наружных температур за отопительный сезон 2017/2018 гг., продолжительностью в 1 неделю (168 ч) каждый.

I диапазон соответствует периоду экстремального похолодания, когда температура наружного воздуха находилась вблизи расчетной температуры для проектирования отопления и даже ниже нее (для г. Новосибирска  $t_{\text{но}} = -37$  °C).

II диапазон соответствует «среднезимним» наружным температурам – 10–25 °C.

III диапазон – наружная температура вблизи точки излома температурного графика, когда влияние водопотребления в системе горячего водоснабжения на работу системы отопления наиболее велико.

IV диапазон – период достаточно высоких наружных температур, соответствует началу и концу отопительного периода.

По графику тепловой мощности (см. рис. 3) в зависимости от наружной температуры и в зависимости от режима суточного водопотребления горячей воды в рабочие и выходные дни были определены температуры внутреннего воздуха для зданий с коэффициентом тепловой аккумуляции  $\beta = 73$  ч.

Текущая температура внутреннего воздуха  $t_B^d$  за время  $z$ , ч, для каждого диапазона наружных температур определялась по формуле

$$t_B^d = t_H + \left[ \frac{Q_{do}^d}{Q_{do}^{TP}} + \left( \frac{t_B - t_H}{t_B^{TP} - t_{HO}} \right) \cdot e^{-\frac{z}{\beta}} \right] (t_B^{TP} - t_{HO}). \quad (18)$$

Результаты расчета для I–IV диапазонов наружных температур показаны в таблице.

Температура внутреннего воздуха помещений  
Indoor air temperature

График	Диапазон наружных температур			
	I	II	III	IV
[25], 150/70 °С	20–24,4	24,0–25,9	18,9–21,7	15,4–18,8
[25], 114/70 °С	19,4–22,1	15,7–22,0	4,4–14,9	15,6–18,9
[4]	18,9–20,5	16,2–20,3	8,8–16,2	15,4–18,9
[20, 21]	18,5–19,9	15,5–19,5	8,8–16,0	15,3–18,9
[22]	19,2–22,0	21,9–23,0	11,2–18,7	16,7–19,4
[8]	18,7–21,4	19, –21,5	12,8–18,5	19,5–21,8

В I диапазоне наружных температур – периоде резкого похолодания – все графики могут обеспечить допустимую температуру внутреннего воздуха на уровне 18–21 °С. В графиках 1 [25], 2 [25], 6 [8] может быть обеспечена и оптимальная температура внутреннего воздуха 21–23 °С. Объясняется это тем, что при низких температурах наружного воздуха основная нагрузка горячего водоснабжения покрывается подогревателем горячего водоснабжения первой ступени, работающим на обратной воде и не влияющим на работу системы отопления. С повышением наружной температуры увеличивается тепловая мощность подогревателя горячего водоснабжения второй ступени, что может снизить тепловую мощность системы отопления. Снижение внутренней температуры заметно уже в области среденезимних наружных температур II, когда только графики 1 [25], 5 [22], 6 [8] могут обеспечить комфортную температуру в помещениях; в графиках же 2 [25], 3 [4], 4 [20, 21] может быть обеспечена только допустимая температура внутреннего воздуха.

Самый худший внутренний температурный режим наблюдается в пределах точки излома температурного графика (диапазон наружных температур III). В этом случае только высокотемпературный график 1 [25] может обеспечить допустимую температуру внутреннего воздуха. В низкотемпературном графике 2 [25] наблюдается снижение температуры внутреннего воздуха до 5 °С. В графике 6 [8] возможна работа системы отопления в этот период при допустимых температурах внутреннего воздуха при определенной настройке системы регулирования и, возможно, некотором снижении температуры в системе горячего водоснабжения.

В переходный период отопительного сезона, когда теплопотери зданий незначительны (диапазон наружных температур IV), в графике 6 [8] может быть обеспечена оптимальная температура внутреннего воздуха, остальные графики обеспечат температуру внутреннего воздуха в пределах допустимых значений.

## **Заключение**

Качественно-количественное регулирование является наиболее перспективным энергосберегающим методом регулирования тепловой нагрузки в современных условиях. Активно разрабатываются технологии качественно-количественного регулирования на источнике теплоты, предлагаются новые схемные решения [8]. В то же время необходимо рассматривать эти способы также с точки зрения потребителей, способности тепловых сетей обеспечить оптимальную температуру в помещениях без снижения качества горячего водоснабжения, что невозможно без расчета переменных режимов системы теплоснабжения. Анализ существующих графиков качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки на источнике теплоты позволил выявить следующие особенности:

1. График качественно-количественного регулирования, разработанный Е.Я. Соколовым [25], в основном предназначался для повсеместно применяемого температурного графика 150/70 °С и отопительных приборов – чугунных радиаторов. В современных условиях переход на этот график при действующих низких температурах теплоносителя не обеспечит допустимой температуры внутреннего воздуха отапливаемых зданий.

2. Наименьшие колебания температуры внутреннего воздуха обеспечивает криволинейный график, в котором более качественно учтена зависимость теплоотдачи отопительных приборов от температуры теплоносителя.

3. Наиболее неблагоприятный внутренний режим наблюдается в пределах точки излома температурного графика, причем у низкотемпературных графиков точка излома приходится на область более низких наружных температур, когда теплопотери еще достаточно велики.

4. Самый оптимальный температурный режим при небольшом расходе сетевой воды может быть обеспечен при применении графика, предложенного В.И. Шараповым, П.В. Ротовым [8], однако в этом графике применяется не качественно-количественное центральное регулирование, а имеются отдельные диапазоны качественного и количественного регулирования.

Таким образом, простым сложением расходов сетевой воды на отопление и горячее водоснабжение не удастся добиться оптимального теплового режима, вследствие связанной подачи теплоты. Поэтому требуется дальнейшее совершенствование технологий центрального качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки с учетом горячего водоснабжения.

## **Библиографический список**

1. Шарапов В.И., Ротов П.В., Орлов М.Е. Количественное регулирование нагрузки открытых систем теплоснабжения на ТЭЦ // Проблемы энергетики. – 2001. – № 7–8. – С. 31–40.
2. Проблемы энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения / Т.А. Рафальская, Р.Ш. Мансуров, Д.И. Ефимов, Е.Ю. Косова // Известия вузов. Строительство. – 2016. – № 10–11. – С. 32–48.

3. Рафальская Т.А., Рохлецова Т.Л., Тюсов С.М. Центральное регулирование без верхней срезки: возможности и перспективы // Известия вузов. Строительство. – 2018. – № 5. – С. 91–104.
4. Дюскин В.К. Количественно-качественное регулирование тепловых сетей. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 145 с.
5. Дюскин В.К. Тепловой и гидравлический режим систем водяного отопления. – М.-Л.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1950. – 149 с.
6. Зингер Н.М. Качественно-количественное регулирование закрытых систем теплоснабжения // Теплоэнергетика. – 1964. – № 8. – С. 62–66.
7. Расчет графиков регулирования тепловой нагрузки в независимых автоматизированных системах теплоснабжения / В.П. Черненко, И.Д. Лихачев, М.С.Барышев, М.Б. Рахматулина // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2017. – № 3 (32). – С. 27–31.
8. Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. – М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 174 с.
9. Братенков В.Н., Хаванов П.А., Вэскер Л.Я. Теплоснабжение малых населенных пунктов. – М.: Стройиздат, 1988. – 223 с.
10. Hai Wang, Haiying Wang, Tong Zhu. A new hydraulic regulation method on district heating system with distributed variable-speed pumps // Energy Conversion and Management. – 2017. – № 147. – P. 174–189.
11. Per Rimmer. A remarkable district heating system // New of DHDB. – 2003. – № 2. – P. 51–55.
12. Lars Gullev. Introduction of incentive traffics – a benefit for the environment // New of DHDB. – 2005. – № 1. – P. 12–14.
13. Hans Bjork. From Greenfield to a new district heating system // New of DHDB. – 2005. – № 1. – P. 18–21.
14. Flemming Ulbjerg. Low temperature heat sources // New of DHDB. – 2003. – № 2. – P. 42–45.
15. Detroja K.P., Gudi R.D., Patwardhan S.C. Plant-wide detection and diagnosis using correspondence analysis // Control Engineering Practice. – 2007. – Vol. 15, iss. 12. – P. 1468–1483.
16. Седнин А.В., Марченко П.Ю. К выбору метода регулирования отпуска теплоты от ТЭЦ // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2008. – № 1. – С. 48–54.
17. Real operation pattern of district heating system and its heating effects / Yiwen Jian, Yi Li, Zhaohui Liu, Rui Li. // Procedia Engineering. – 2015. – № 121. – P. 1741–1748.
18. The Influence of Central Regulation Methods upon Annual Heat Loss in Heating Network / Xiaofang Shan, Peng Wang, Panhong Ren and Hua Zhao // MATEC Web of Conferences 54, 06004. – 2016.
19. Optimal usage of low temperature sources to supply district heating by heat pumps / H. Pieper, T.S. Ommen, W.B. Markussen, B. Elmegaard // Proceedings of ECOS 2017: 30th International Conference of Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, 2017.
20. Панферов В.И., Панферов С.В. К теории управления режимами централизованного теплоснабжения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2011. – № 16 (233). – С. 41–45.

21. Денисенко Ю.Н., Панферов В.И. Исследование и разработка алгоритмов регулирования систем теплоснабжения // Вестник Южно-Уральского государственного университета: Серия: Компьютерные технологии, управления, радиоэлектроника. – 2007. – № 23 (95). – С. 55–59.

22. Гершкович В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя) // Энергосбережение. – 2004. – № 5. – С. 14–19.

23. Збараз Л.И., Павлова В.Г. Математическое моделирование и оптимизация работы тепловых сетей с учетом тепловых потерь // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – № 8 (221). – С. 42–50.

24. Культяев С.Г. Сравнительный анализ и оптимизация методов регулирования совмещенной тепловой нагрузки [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2017. – Т. 9, № 2 – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN217.pdf> (дата обращения: 10.12.2018).

25. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 7-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.

## References

1. Sharapov V.I., Rotov P.V., Orlov M.E. Kolichestvennoye regulirovaniye nagruzki otkrytykh sistem teplosnabzheniya na TETS [Quantitative regulation of the load of open heat supply systems at CHP]. *Problems of the power industry*, 2001, no. 7-8, pp. 31-40.

2. Rafalskaya T.A., Mansurov R.Sh., Efimov D.I., Kosova E.Yu. Problemy energeticheskoy effektivnosti sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya [Problems of power efficiency of systems of the centralized heat supply]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2016, no. 10-11, pp. 32-48.

3. Rafalskaya T.A., Rokhletcova T.L., Tyusov M.S. Tsentral'noye regulirovaniye bez verkhney srezki: vozmozhnosti i perspektivy [Central regulation without upper cut: capabilities and prospects]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2018, no. 5, pp. 91-104.

4. Duskin V.K. Kolichestvenno-kachestvennoye regulirovaniye teplovykh setey [Quantitative and qualitative regulation of heat networks]. Moscow, Gosenergoizdat, 1959, 145 p.

5. Duskin V.K. Teplovoy i gidravlicheskiy rezhim sistem vodyanogo otopeniya [Thermal and hydraulic regime of water heating systems]. M.-L., Publishing House of the Ministry of Public Utilities of the RSFSR, 1950, 149 p.

6. Singer N.M. Kachestvenno-kolichestvennoye regulirovaniye zakrytykh sistem teplosnabzheniya [Qualitative and quantitative regulation of closed heating systems]. *Thermal Engineering*, 1964, no 8, pp. 62-66.

7. Chernenkov V.P., Likhachev I.D., Baryshev M.S., Rakhmatulina M.B. Raschet grafikov regulirovaniya teplovoy nagruzki v nezavisimyykh avtomatizirovannykh sistemakh teplosnabzheniya [Calculation of heat load control charts in independent automated heat supply systems]. *Bulletin of the FEFU Engineering School*, 2017, no. 3 (32), pp. 27-31.

8. Sharapov V.I., Rotov P.V. Regulirovaniye nagruzki sistem teplosnabzheniya [Regulation of the load of heat supply systems]. Moscow, Heat supply news, 2007, 174 p.

9. Bratenkov V.N., Khavanov P.A., Vasker L.Ya. Teplosnabzheniye malyykh naselennykh punktov [Heat supply of small settlements]. Moscow, Stroizdat, 1988, 223 p.

10. Hai Wang, Haiying Wang, Tong Zhu. A new hydraulic regulation method on district heating system with distributed variable-speed pumps. *Energy Conversion and Management*, 2017. no. 147, pp. 174-189.
11. Per Rimmer. A remarkable district heating system. *New of DHDB*, 2003, no. 2, pp. 51-55.
12. Lars Gullev. Introduction of incentive traffics – a benefit for the environment. *New of DHDB*, 2005, no. 1, pp. 12-14.
13. Hans Bjork. From Greenfield to a new district heating system. *New of DHDB*, 2005, no. 1, pp. 18-21.
14. Flemming Ulbjerg. Low temperature heat sources. *New of DHDB*, 2003, no. 2, pp. 42-45.
15. Detroja K.P., Gudi R.D., Patwardhan S.C. Plant-wide detection and diagnosis using correspondence analysis. *Control Engineering Practice*, 2007, vol. 15, iss. 12, pp. 1468-1483.
16. Sednin A.V., Marchenko P.Yu. K vyboru metoda regulirovaniya otpuska teploty ot TETs [To the choice of the method for regulating the heat supply from the CHPP]. *News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. Power Engineering*, 2008, no. 1, pp. 48-54.
17. Yiwen Jian, Yi Li, Zhaohui Liu, Rui Li. Real operation pattern of district heating system and its heating effects. *Procedia Engineering*, 2015, no. 121, pp. 1741-1748.
18. Xiaofang Shan, Peng Wang, Panhong Ren and Hua Zhao. The Influence of Central Regulation Methods upon Annual Heat Loss in Heating Network. *MATEC Web of Conferences* 54, 06004, 2016.
19. Pieper H., Ommen T.S., Markussen W.B., Elmegaard B. Optimal usage of low temperature sources to supply district heating by heat pumps. *Proceedings of ECOS 2017: 30th International Conference of Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, 2017.
20. Panferov V.I., Panferov S.V. K teorii upravleniya rezhimami tsentralizovannogo teplosnabzheniya [Toward a theory of management of centralized heating regimes]. *Bulletin of the South Ural State University: Series: Construction and Architecture*, 2011, no. 16 (233), pp. 41-45.
21. Denisenko Yu.N., Panferov V.I. Issledovaniye i razrabotka algoritmov regulirovaniya sistem teplosnabzheniya [Research and development of algorithms for regulating heat supply systems]. *Bulletin of South Ural State University: Series: Computer technology, management, electronics*, 2007, no. 23 (95), pp. 55-59.
22. Gershkovich V.F. Sto pyat'desyat...Norma ili perebor? (Razmyshleniya o parametrah teplonosatelya) [One hundred fifty ... Norma or bust? (Reflections on the parameters of the coolant)]. *Energy Saving*, 2004, no. 5, pp. 14-19.
23. Zbaraz L.I., Pavlova V.G. Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya raboty teplovykh setey s uchotom teplovykh poter' [Mathematical modeling and optimization of heating networks, taking into account heat losses]. *Annotation of the Pridniprovsky State Academic of Construction and Architecture*, 2016, no. 8 (221), pp. 42-50.
24. Kulyaev S.G. Sravnitel'nyy analiz i optimizatsiya metodov regulirovaniya sovmeshchennoy teplovoy nagruzki [Comparative analysis and optimization of the combined heat load control methods]. *Internet-journal "SCIENCE"*, 2017, vol. 9, no. 2, available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN217.pdf> (accessed 10 December 2018)/
25. Sokolov E.YA. Teplofikatsiya i teplovyye seti [Heating and heat networks]. Moscow, Publishing house MEI, 2001, 472 p.