



ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

П.В. Ротов¹, А.А. Сивухин², М.А. Ротова¹, Р.А. Гафуров¹, А.В. Горшков³

¹Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия

²УМУП «Городской теплосервис», Ульяновск, Россия

³Филиал «Ульяновский» ПАО «Т Плюс», Ульяновск, Россия

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6228-6401>, p.rotov@rambler.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. Выполнить анализ соответствия фактического расхода тепловой энергии на подогрев холодной воды для коммунальной услуги горячего водоснабжения утвержденному нормативу. Сравнить различные способы регулирования расхода в циркуляционных трубопроводах систем горячего водоснабжения. Определить способы повышения экономичности работы систем горячего водоснабжения. МЕТОДЫ. Методом пассивного инженерного эксперимента выполнено исследование режимов работы систем горячего водоснабжения нескольких групп домов, в которых реализованы различные способы регулирования расхода воды в системах горячего водоснабжения. Сбор данных осуществлялся при помощи онлайн-системы контроля и коммерческого учета энергоресурсов. РЕЗУЛЬТАТЫ. Выполнено обследование действующих систем горячего водоснабжения в жилых домах г. Ульяновска при различных способах регулирования расхода в циркуляционных трубопроводах. Исследованы особенности статического и динамического регулирования нагрузки систем горячего водоснабжения. Выполнен анализ влияния способов регулирования тепловой нагрузки систем горячего водоснабжения на их фактическое теплопотребление. Оценена возможность приведения фактического режима работы систем горячего водоснабжения к нормативному значению, на основании которого производится расчет потребления. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Известные способы регулирования нагрузки в системах горячего водоснабжения и реальные условия их эксплуатации не позволяют достичь уровня теплопотребления, соответствующего установленным нормативам. Сделаны выводы о необходимости пересмотра нормируемых показателей качества горячей воды и корректировки методики расчета потребления в системах горячего водоснабжения.

Ключевые слова: теплофикационные системы, системы горячего водоснабжения, энергосбережение, регулирование тепловой нагрузки, повышение энергетической эффективности

Для цитирования: Ротов П.В., Сивухин А.А., Ротова М.А., Гафуров Р.А., Горшков А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 6. С. 117-129. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-117-129.

ON THE EFFICIENCY OF THE CONTROL OF THE CIRCULATION OF HOT WATER

PV. Rotov, AA. Sivukhin, MA Rotova, RA. Gafurov, AV. Gorshkov

Abstract: PURPOSE. Perform analysis of the actual heat energy consumption for cold water heating for the hot water utility to the approved standard. Compare different methods of flow control in circulation pipelines of hot water supply systems. Identify ways to improve the efficiency of hot water systems. METHODS. The passive engineering experiment was used to study the operating modes of hot water supply systems of several groups of houses, in which various methods of regulating water consumption in hot water supply systems are implemented. Data collection was carried out using the online system of control and commercial accounting of energy resources. RESULTS. Existing hot water supply systems in residential buildings of Ulyanovsk were inspected under various methods of flow control in circulation pipelines. Features of static and dynamic load control of hot water supply systems were investigated. Analysis of influence of methods of control of thermal load of hot water supply systems on their actual heat consumption

was performed. The possibility of bringing the actual operation mode of hot water supply systems to the standard value, on the basis of which consumption is calculated, is estimated. **CONCLUSION.** Known methods of load control in hot water supply systems and their actual operating conditions do not allow to reach the level of heat consumption that meets the established standards. Conclusions were drawn on the need to revise the regulated indicators of hot water quality and to adjust the method of calculating consumption in hot water supply systems.

Key words: heating systems, hot water supply systems, energy saving, heat load control, energy efficiency improvement.

For citation: Rotov PV, Sivukhin AA, Rotova MA, Gafurov RA, Gorshkov AV. On the efficiency of the control of the circulation of hot water. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020;22(6):117-129. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-6-117-129.

Введение и литературный обзор

Как известно, одним из показателей энергетической эффективности теплофикационных систем является температура обратной сетевой воды. В централизованных системах теплоснабжения значение температуры воды, возвращаемой на теплоисточник, определяется точностью и качеством регулирования нагрузки систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения [1, 2].

Обследование действующих централизованных систем теплоснабжения показывает, что существует ежегодная тенденция снижения потребления теплоты, обусловленная внедрением энергосберегающих технологий и коммерческого учета тепловой энергии [3–6].

Особенностью работы отечественных систем теплопотребления является нормирование температуры воды в обратном трубопроводе систем отопления и отсутствие нормирования температуры циркуляционной воды в системах горячего водоснабжения. В таких условиях существенно возрастает влияние режима работы систем горячего водоснабжения на температуру обратной сетевой воды [7].

В табл. 1 приведены сведения о режимах работы систем теплопотребления ряда жилых домов в г. Ульяновск. Как следует из приведенных данных, существенный негативный вклад в превышение температуры обратной сетевой воды вносит циркуляция горячей воды. При этом системы теплопотребления домов, указанных в табл. 1, необходимым образом отрегулированы и работают в расчетном режиме.

Следует отметить, что такое соотношение температуры в обратных трубопроводах различных систем теплопотребления характерно для большинства потребителей системы теплоснабжения.

В настоящее время расчет потребления в системах горячего водоснабжения осуществляется с использованием норматива расхода тепловой энергии, используемой на подогрев холодной воды, величина которого варьируется в регионах России от 0,057 до 0,069 Гкал/м³ [8,9]. Применение такого способа расчета подразумевает, что плата за коммунальную услугу горячего водоснабжения определяется индивидуально для каждого потребителя в зависимости от режима потребления горячей воды. Однако с момента введения этого норматива среди специалистов не утихают споры о правильности такого способа определения платы за коммунальную услугу горячего водоснабжения (ГВС).

Таблица 1

Параметры работы систем теплопотребления

| Адрес | Температура воды, °С | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | в обратном трубопроводе теплосети | в обратном трубопроводе отопления | в циркуляционном трубопроводе ГВС |
| пр. Сулова, 25 | 47 | 43 | 54 |
| пр. Сулова, 37 | 47 | 42 | 53 |
| пр. Сулова, 41 | 51 | 44 | 55 |
| пр. Сулова, 35 | 49 | 44 | 54 |
| пр. Сулова, 33 | 46 | 43 | 52 |
| б. Фестивальный, 10 | 44 | 42 | 49 |
| б. Фестивальный, 6 | 46 | 43 | 50 |
| б. Фестивальный, 3 | 47 | 42 | 52 |
| пр. Ульяновский, 7 (2 ввод) | 43 | 41 | 48 |

| | | | |
|------------------------------|------|----|----|
| пр. Ульяновский, 7 (1 ввод) | 47 | 42 | 53 |
| пр. Ульяновский, 5 (2 ввод) | 48 | 44 | 51 |
| пр. Ульяновский, 5 (1 ввод) | 52 | 45 | 55 |
| пр. Ульяновский, 3 (2 ввод) | 47 | 43 | 51 |
| пр. Ульяновский, 3 (1 ввод) | 41 | 39 | 48 |
| пр. Туполева, 14 | 46,5 | 43 | 50 |
| пр. Туполева, 10 | 46 | 43 | 52 |
| пр. Ленинского Комсомола, 49 | 46 | 42 | 53 |
| пр. Ленинского Комсомола, 53 | 43 | 40 | 50 |
| ул. 40 летия Победы, 24 | 56 | 45 | 59 |
| ул. 40 летия Победы, 26 | 42 | 40 | 49 |
| ул. 40 летия Победы, 22 | 47 | 44 | 53 |

Норматив – это расчетная величина, которая определяется с целым рядом допущений, не учитывающих реальные режимы потребления в системах горячего водоснабжения [8, 9]. Так, температура горячей и холодной воды принимаются постоянными. Циркуляционный расход в системе ГВС учитывается при помощи добавочного коэффициента, максимальное значение которого, как показывают исследования, не учитывает фактическое значение потерь [9–11]. В результате, введенные допущения существенно влияют на точность и полноту учета фактического расхода тепловой энергии в системах горячего водоснабжения

Как показывает обследование и анализ режимов работы систем горячего водоснабжения, норматив расхода тепловой энергии на подогрев повсеместно занижен. При поддержании циркуляции и температуры горячей воды в пределах от 60°C до 75°C, фактическое удельное теплопотребление на ГВС может превышать значение 0,1 Гкал/м³ (см. табл. 2). В малозаселённых домах, кварталах, а также там, где часть жителей перешли на самостоятельный газовый или электрический нагрев воды, эта величина ещё выше. Несоответствие нормативных значений и фактического потребления тепловой энергии в системах горячего водоснабжения приводит к значительным годовым финансовым потерям энергоснабжающих предприятий, которые, по оценкам экспертов, могут достигать 100 млн. руб. для города с населением 500-700 тыс. чел.

Материалы и методы

Для анализа соответствия фактического расхода тепловой энергии на подогрев холодной воды для предоставления коммунальной услуги по горячему водоснабжению утвержденному нормативу (нормативу на подогрев), влияющего на распределение потерь в общей системе теплоснабжения и горячего водоснабжения, в г. Ульяновск проведено обследование ряда внутридомовых систем горячего водоснабжения. Проведено сравнение режимов работы систем ГВС при ограничении циркуляционного расхода путем установки дроссельных диафрагм постоянного сечения и выдерживания заданных значений температуры воды в циркуляционных линиях за счет установки термостатических клапанов.

Таблица 2

Параметры ГВС у потребителей до проведения технических мероприятий

| Адрес | Расход тепловой энергии на подогрев, Гкал/м ³ | | Температура воды, °С | | Расход воды, т/ч | |
|-------------------------|--|------------|--|--|---|---|
| | расчетный | фактически | в подающем трубопроводе ГВС Т ₃ | в циркуляционном трубопроводе ГВС Т ₄ | в подающем трубопроводе ГВС, М ₃ | в циркуляционном трубопроводе ГВС, М ₄ |
| ЦТП «Локомотивное депо» | | | | | | |
| ул. Кирова, 50 | 0,067 | 0,075 | 61,97 | 58,37 | 3,82 | 3,46 |
| ул. Кирова, 52 | 0,067 | 0,068 | 61,08 | 57,07 | 3,87 | 3,4 |
| ул. Железнодорожная, 45 | 0,067 | 0,125 | 61,23 | 52,92 | 2,15 | 1,95 |

| ЦТП «УЗТС 1а» | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| ул. Ефремова,37 | 0,067 | 0,128 | 66,33 | 51,38 | 2,78 | 2,23 |
| ул. Ефремова,46 | 0,067 | 0,099 | 64,01 | 52,24 | 1,85 | 1,37 |
| ул. Станко-строителей, 6 | 0,067 | 0,121 | 65,4 | 54,96 | 5,88 | 4,91 |
| ул. Станко-строителей, 8 | 0,067 | 0,148 | 63,84 | 54,16 | 3,45 | 3,09 |
| ул. Станко-строителей, 10 | 0,067 | 0,122 | 65,58 | 52,26 | 2,28 | 1,84 |
| ул. Станко-строителей, 12 | 0,067 | 0,151 | 65,24 | 53,37 | 3,12 | 2,74 |
| ул. Станко-строителей, 14 | 0,067 | 0,147 | 67,61 | 55,02 | 2,9 | 2,5 |
| ул. Станко-строителей, 22 | 0,067 | 0,112 | 62,37 | 51,87 | 1,69 | 1,4 |
| ул. Станко-строителей,16 | 0,062 | 0,071 | 67,56 | 59,7 | 1,16 | 0,38 |
| ул. Станко-строителей, 18 | 0,062 | 0,077 | 66,56 | 45,55 | 1,13 | 0,36 |
| ул. Станко-строителей, 20 | 0,062 | 0,072 | 66,92 | 57,72 | 2,6 | 1,35 |

Мероприятия проводились в период с 20.07.2018 г. по 17.10.2018 г. в жилых домах, присоединенных к двум центральным тепловым пунктам со следующими характеристиками:

- ЦТП «Локомотивное депо»: 2-х трубная система теплоснабжения, присоединено 3 жилых дома, системы ГВС циркуляционные, стояки с полотенцесушителями, подключенная нагрузка ГВС 0,82 Гкал/час;

- ЦТП «УЗТС 1а»: 4-х и 2-х трубная система теплоснабжения, присоединено 11 жилых домов, в 8 домах системы ГВС циркуляционные, стояки с полотенцесушителями, в 3-х домах системы ГВС без циркуляции, подключенная нагрузка ГВС 5,68 Гкал/час.

Выбор объектов обусловлен наличием у всех потребителей приборов учета тепловой энергии и теплоносителя.

Сбор информации, обследование и анализ работы потребителей, подключенных к ЦТП, проводились в период с 20.07.2018 г. по 07.08.2018 г. Было зафиксировано текущее состояние систем ГВС, выполнены мероприятия по оптимизации режима их работы, проверено наличие и соответствие расчету установленных дроссельных диафрагм в циркуляционных линиях ГВС.

Средние значения параметров работы системы ГВС от рассматриваемых ЦТП до проведения технических мероприятий приведены в табл. 2. Как следует из табл. 2 фактическое потребление в системах ГВС превышает расчетные значения более чем в два раза.

Результаты и обсуждения

В целях приведения фактического удельного теплопотребления к расчетному значению в период с 12.09.2018 г. по 18.09.2018 г. выполнено уменьшение диаметров дроссельных диафрагм, установленных на циркуляционных линиях ГВС у потребителей тепловой энергии от ЦТП «Локомотивное депо». После корректировки режимов работы и снижения циркуляционного расхода среднее фактическое значение расхода тепловой энергии на подогрев составило 0,058 Гкал/м³, но при этом зафиксировано нарушение качества ГВС – температура теплоносителя на вводах в дома составляла менее 55°С. Очевидно, что ограничение циркуляционного расхода дроссельными диафрагмами не позволяет обеспечить потребление в системах ГВС в соответствие с нормативами.

Таблица 3

Параметры ГВС у потребителей после установки термостатических клапанов

| Адрес | Расход тепловой энергии на подогрев, Гкал/м ³ | | Температура воды, °С | | Расход воды, т/ч | |
|--------------------------|--|------------|---|---|---|---|
| | расчетный | фактически | в подающем трубопроводе ГВС, Т ₃ | в циркуляционном трубопроводе ГВС, Т ₄ | в подающем трубопроводе ГВС, М ₃ | в циркуляционном трубопроводе ГВС, М ₄ |
| ЦТП «Локомотивное депо» | | | | | | |
| ул. Кирова, 50 | 0,067 | 0,076 | 60,83 | 57,33 | 2,66 | 2,35 |
| ул. Кирова, 52 | 0,067 | 0,074 | 60,7 | 52,37 | 1,88 | 1,4 |
| ул. Железнодорожная, 45 | 0,067 | 0,108 | 61,05 | 52,07 | 2,06 | 1,8 |
| ЦТП «УЗТС 1а» | | | | | | |
| ул. Ефремова, 37 | 0,067 | 0,105 | 63,52 | 50,33 | 3,65 | 2,93 |
| ул. Ефремова, 46 | 0,067 | 0,077 | 62,29 | 52,44 | 2,27 | 1,65 |
| ул. Станкостроителей, 6 | 0,067 | 0,087 | 62,65 | 49,58 | 4,98 | 3,65 |
| ул. Станкостроителей, 8 | 0,067 | 0,105 | 60,45 | 51,78 | 3,84 | 3,33 |
| ул. Станкостроителей, 10 | 0,067 | 0,094 | 62,08 | 52,55 | 3,52 | 2,9 |
| ул. Станкостроителей, 12 | 0,067 | 0,108 | 61,68 | 50,53 | 3,4 | 2,85 |
| ул. Станкостроителей, 14 | 0,067 | 0,119 | 63,7 | 51,51 | 3,28 | 2,77 |
| ул. Станкостроителей, 22 | 0,067 | 0,101 | 61,2 | 52,59 | 2,69 | 2,31 |
| ул. Станкостроителей, 16 | 0,062 | 0,056 | 65,46 | 61,98 | 2,27 | 1,23 |
| ул. Станкостроителей, 18 | 0,062 | 0,065 | 65,05 | 57,11 | 2,59 | 1,61 |
| ул. Станкостроителей, 20 | 0,062 | 0,067 | 65,22 | 59,46 | 4,52 | 3,18 |

Для увеличения диапазона регулирования вместо дроссельных диафрагм на циркуляционных линиях ГВС были установлены термостатические клапаны повышенного сопротивления. После установки термостатических клапанов на всех домах снижены фактические расходы горячей воды. В жилых домах № 50 и № 52 по ул. Кирова не удалось уменьшить удельное теплосодержание в системах ГВС. В доме № 45 по ул. Железнодорожная удалось на 13% уменьшить фактическое значение коэффициента на подогрев, но не удалось привести его в соответствие к нормативным значениям без потери качества ГВС из-за увеличенных поверхностей нагрева полотенцесушителей.

Средние значения параметров системы ГВС в период с 08.10.2018г. по 10.10.2018г. после установки термостатических клапанов приведены в табл. 3.

После установки термостатических клапанов во всех домах ЦТП «УЗТС 1а» снижены фактические расходы горячей воды и удельные расходы тепловой энергии на подогрев. Приблизить фактическое теплосодержание к нормативным значениям удалось только на доме по ул. Станкостроителей, 16. Средние значения параметров системы ГВС в период с 04.10.2018г. по 17.10.2018г. после установки термостатических клапанов приведены в табл. 3.

Динамика изменения значений удельного теплопотребления до и после проведения технических мероприятий на жилых домах, присоединенных к одному из ЦТП, представлена на рис. 1.

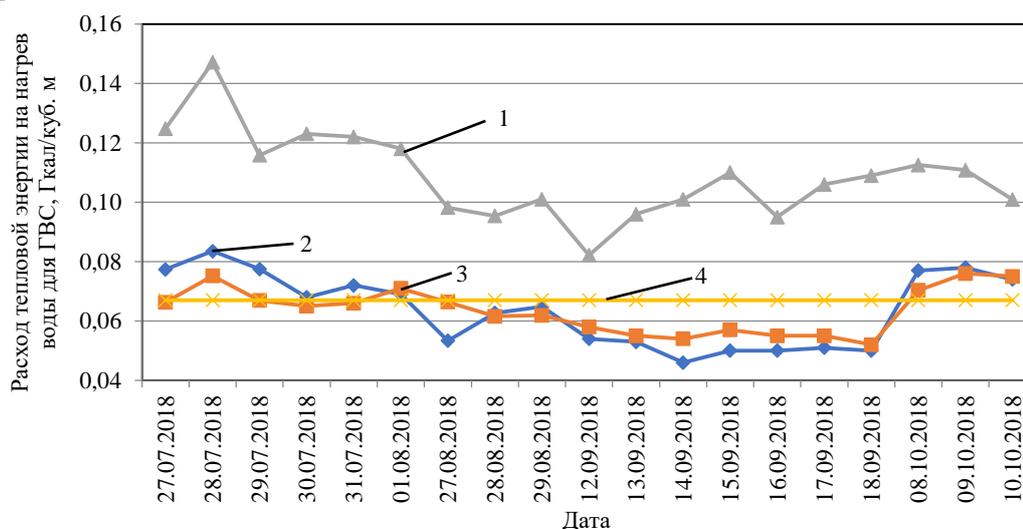


Рис. 1. Динамика изменения удельного теплопотребления в системах ГВС от ЦТП «Локомотивное депо»: 1 – ул. Железнодорожная, 45; 2 – ул. Кирова, 50; 3 – ул. Кирова, 52; 4 – расчетное значение норматива расхода тепловой энергии на подогрев воды для ГВС.

По итогам проведенных технических мероприятий в жилых домах получены следующие результаты:

1. До проведения вышеуказанных технических мероприятий фактическое потребление в системах горячего водоснабжения существенно превышало (более чем в два раза) утвержденный норматив расхода тепловой энергии, используемой на подогрев холодной воды для услуги ГВС. Причиной несоответствия являются конструктивные особенности систем горячего водоснабжения, при которых тепловая энергия из внутренней системы ГВС, независимо от времени суток и температуры наружного воздуха, используется на отопление ванных комнат.

2. Значительное влияние на удельный расход тепловой энергии оказывает режим потребления горячей воды. В часы максимального водоразбора в циркуляционных системах удельное значение расхода тепловой энергии снижается до $0,054 \text{ Гкал/м}^3$, в часы минимального водоразбора (ночное время) поднимается до $0,14\text{--}0,20 \text{ Гкал/м}^3$. В системах ГВС без циркуляции влияния количества слитого теплоносителя на фактический удельный расход тепловой энергии не такое существенное, как в циркуляционных системах. В часы максимального и минимального водоразбора значение коэффициента на подогрев колеблется в пределах от $0,053$ до $0,081 \text{ Гкал/м}^3$. Очевидно, что большего эффекта возможно добиться, применяя динамические методы регулирования, учитывающие неравномерность режима работы систем горячего водоснабжения [10–12].

3. В жилом доме № 16 по ул. Станкостроителей, не оборудованном полотенцесушителями, после установки термостатических клапанов удалось привести фактический удельный расход тепловой энергии к утвержденным нормативным значениям $0,062 \text{ Гкал/м}^3$, не допуская снижения качества горячего водоснабжения у конечного потребителя.

4. Примененные технические мероприятия по ограничению циркуляционного расхода или поддержанию заданного значения температуры циркуляционной воды не позволяют в полном объеме привести фактическое удельное теплопотребление к нормативным значениям без нарушения параметров качества. Можно предположить, что при понижении нижней границы разрешенного диапазона регулирования температуры горячей воды, например, до 55°C , эффективность таких технических мероприятий будет более высокой и не повлияет на санитарную надежность систем горячего водоснабжения даже без применения корректирующих мероприятий.

Таким образом, только ограничительными мероприятиями невозможно обеспечить соответствие фактического режима работы систем ГВС утвержденным нормативным значениям. Одним из путей решения этой проблем может стать динамическое регулирование нагрузки ГВС в зависимости от режима потребления. Технически такая задача решается установкой регулирующего оборудования на циркуляционном

трубопроводе системы ГВС. Настройка оборудования осуществляется таким образом, что в период максимального водоразбора циркуляционный расход снижается, при этом компенсация тепловых потерь в системе горячего водоснабжения происходит путем слива воды. В период минимального водоразбора компенсация потерь в системе горячего водоснабжения осуществляется путем увеличения циркуляционного расхода воды.

В 2019–2020 гг. в системе теплоснабжения Ульяновска установлено 46 узлов регулирования в 28 домах со следующими техническими характеристиками основного оборудования: регулирующий клапан – комбинированный клапан *TA-Modulator* с электроприводом *TA-Slider 160*; накладной датчик температуры воды ОВЕН ДТС3225-PT1000. В2 с чувствительным элементом Pt1000; контроллер ОВЕН-ПР200 со свободно-программируемой логикой.

Первоначально узлы регулирования были настроены для выдерживания температуры в обратном трубопроводе в пределах – 50–52°C круглосуточно. Снижение температуры на 2–3°C не дало ощутимого эффекта. Поэтому была выполнена частичная перенастройка узлов регулирования в соответствии с фактическим режимом потребления ГВС по графику (табл. 4). При этом расчетное среднесуточное значение температуры воды в циркуляционном трубопроводе составило 44°C. После применения температурного графика, указанного в табл. 4, существенно изменился режим работы систем горячего водоснабжения. Сравнительный анализ режима работы в характерные сутки до регулирования и после установки оборудования приведен на рис. 2–5.

Таблица 4

Температурный график регулирования температуры в циркуляционном трубопроводе

| Часы | Температура, °С | Часы | Температура, °С |
|-------|-----------------|-------|-----------------|
| 00:00 | 48 | 12:00 | 45 |
| 01:00 | 46 | 13:00 | 45 |
| 02:00 | 45 | 14:00 | 45 |
| 03:00 | 44 | 15:00 | 45 |
| 04:00 | 44 | 16:00 | 45 |
| 05:00 | 45 | 17:00 | 45 |
| 06:00 | 48 | 18:00 | 40 |
| 07:00 | 48 | 19:00 | 40 |
| 08:00 | 45 | 20:00 | 40 |
| 09:00 | 40 | 21:00 | 40 |
| 10:00 | 40 | 22:00 | 48 |
| 11:00 | 40 | 23:00 | 48 |

Как следует из рис. 2–5, фактическое среднесуточное значение температуры воды в циркуляционном трубопроводе снизилось более чем на 6 °С. Среднесуточные расходы воды в подающем и циркуляционном трубопроводе ГВС снизились соответственно на 37% и 48%, что привело к соответствующему снижению теплотребления системой. Снижение расхода тепловой энергии на подогрев воды составило в среднем более 15%.

В табл. 5 приведен сравнительный анализ режимных параметров работы систем ГВС в некоторых домах до и после настройки узлов регулирования. Как следует из табл. 5 средняя экономия по одному узлу регулирования составила более 90 Гкал/год. Можно предположить, что суммарная годовая экономия по всем 46 узлам составит более 2,9 млн. руб. При стоимости строительно-монтажных работ и оборудования узлов регулирования равной 3,5 млн. руб., простой срок окупаемости составит 1,2 года.

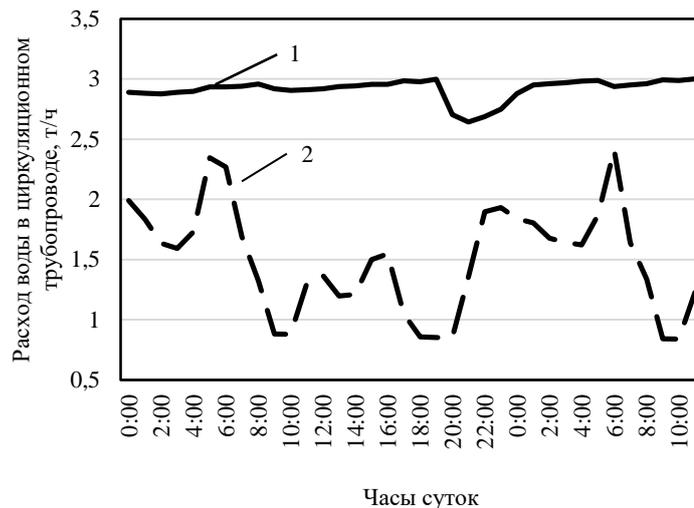


Рис. 2. Динамика изменения расхода воды в циркуляционном трубопроводе ГВС: 1 – до настройки узлов регулирования по графику, приведенному в табл. 4; 2 – после настройки узлов регулирования по графику, приведенному в табл. 4

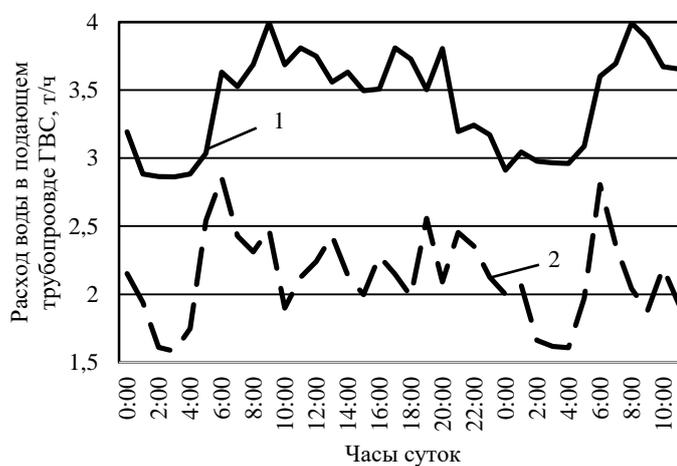


Рис. 3. Динамика изменения расхода воды в подающем трубопроводе ГВС: обозначения те же, что на рис. 2

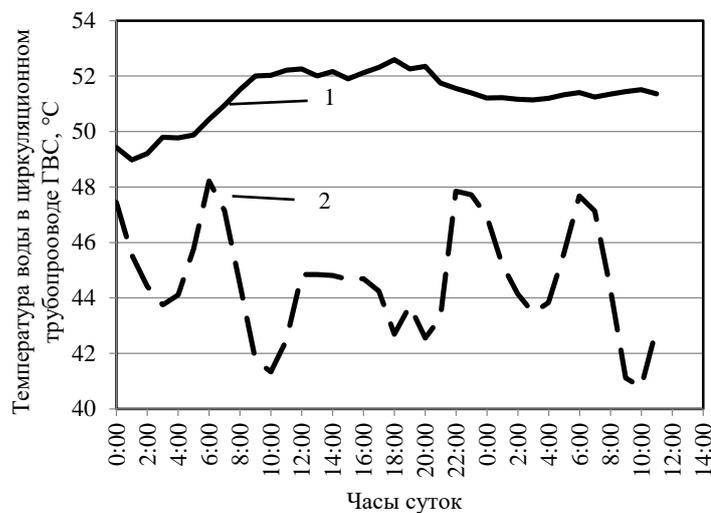


Рис. 4. Динамика изменения температуры воды в циркуляционном трубопроводе ГВС: обозначения те же, что на рис. 2

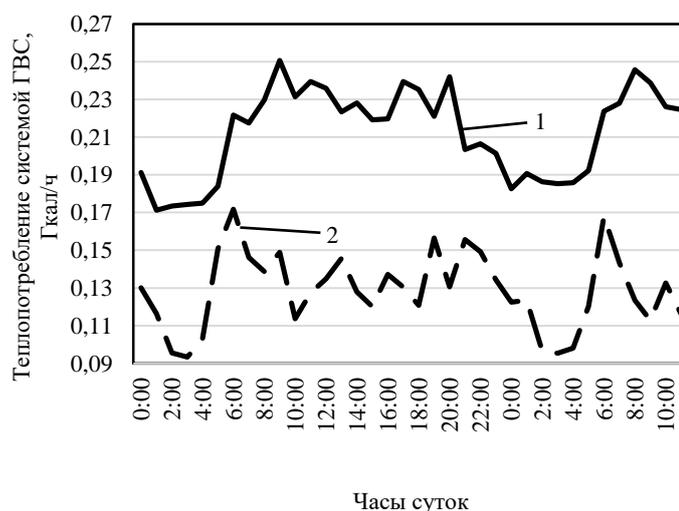


Рис. 5. Динамика изменения потребления теплоты в системе ГВС: обозначения те же, что на рис. 2

Однако одновременно с положительным экономическим эффектом наблюдается понижение температуры воды в подающем трубопроводе системы ГВС в периоды минимального потребления, что объясняется снижением циркуляционного расхода в это время. Так, на рис. 6 видно, что в периоды с 00:00 до 04:00 и с 10:00 до 20:00 температура воды в подающем трубопроводе ГВС имеет значения ниже 60 °С. Это отклонение потребовало дополнительной перенастройки узлов регулирования и повышения температуры воды в циркуляционном трубопроводе ГВС. Среднесуточное значение температуры воды в циркуляционном трубопроводе после перенастройки составило 46 °С.

Таблица 5

Сравнительный анализ режимных параметров систем горячего водоснабжения

| Параметр | До регуливки | После регуливки |
|--|-----------------|--------------------|
| Ул. Гоголя, 10 | | |
| Температура воды в подающем трубопроводе ГВС, °С | 63 | 62,8 |
| Температура воды в циркуляционном трубопроводе ГВС, °С | 50,3 | 44,3 |
| Расход в подающем трубопроводе ГВС, т/ч | 4,3 | 2,8 |
| Расход в циркуляционном трубопроводе ГВС, т/ч | 3,6 | 2,0 |
| Расход тепловой энергии на нагрев воды, Гкал/т | 0,1195 | 0,0998 |
| Годовая экономия, Гкал/год | | 153 |
| Ул. Врача Михайлова, 52, 1 ввод | | |
| Температура воды в подающем трубопроводе ГВС, °С | 65,6 | 60,0 |
| Температура воды в циркуляционном трубопроводе ГВС, °С | 51,4 | 44,4 |
| Расход в подающем трубопроводе ГВС, т/ч | 3,4 | 2,1 |
| Расход в циркуляционном трубопроводе ГВС, т/ч | 2,9 | 1,5 |
| Расход тепловой энергии на нагрев воды, Гкал/т | 0,123 | 0,096 |
| Годовая экономия, Гкал/год | | 94 |
| Ул. Врача Михайлова, 52, 2 ввод | | |
| Температура воды в подающем трубопроводе ГВС, °С | 61,5 | 57,6 |
| Температура воды в циркуляционном трубопроводе ГВС, °С | 54,9 | 45,8 |
| Расход в подающем трубопроводе ГВС, т/ч | 2,6 | 1,2 |
| Расход в циркуляционном трубопроводе ГВС, т/ч | 2,2 | 0,78 |
| Расход тепловой энергии на нагрев воды, Гкал/т | 0,096 | 0,078 |
| Годовая экономия, Гкал/год | | 63 |

Изменение температуры обратной сетевой воды приводит к пропорциональному изменению выработки электроэнергии на тепловом потреблении [13, 14]. Согласно [13]

изменение мощности турбины $\Delta N_{\text{тур}}$, кВт/МВт, можно определить в расчете на 1 МВт тепловой нагрузки отборов турбин

$$\Delta N_{\text{тур}} = 4\Delta t_{\text{ос}} \alpha \eta_{\text{эм}} \quad (1)$$

где $\Delta t_{\text{ос}} = t_{\text{ос}}^{\text{баз}} - t_{\text{ос}}^{\text{нзм}}$ – разность между базовой $t_{\text{ос}}^{\text{баз}}$ и измененной $t_{\text{ос}}^{\text{нзм}}$ температурой обратной сетевой воды, °С; α – термодинамический коэффициент, учитывающий связь между температурой насыщения и теплоперепадом в точках адиабатического процесса расширения пара в турбине, кВт/(кг·°С); $\eta_{\text{эм}}$ – электромеханический КПД турбогенератора.

Расчеты по формуле (1) показывают, что при $\Delta t_{\text{ос}} = 4\text{--}6^\circ\text{C}$, выработка электроэнергии на тепловом потреблении $\Delta N_{\text{тур}}$ увеличивается на 13–20 кВт на 1 МВт тепловой нагрузки отборов турбины.

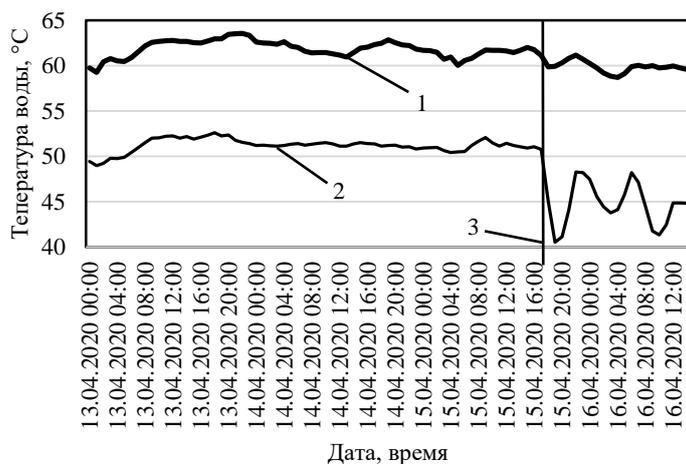


Рис. 6. Температура воды: 1, 2 – соответственно в подающем и циркуляционном трубопроводах системы ГВС; 3 – начало периода регулирования по графику в табл. 4

Как показывают проведенные исследования, регулирование расхода воды в циркуляционном трубопроводе в зависимости от режима потребления позволяет оптимизировать режим работы системы ГВС и добиться значительного технико-экономического эффекта. Однако динамическим способом регулирования нагрузки в системе ГВС также невозможно достигнуть расчетного норматива на подогрев и добиться значительного понижения температуры воды после системы горячего водоснабжения. При среднесуточных значениях температуры воды в циркуляционном трубопроводе равных 44–46°C уже наблюдаются режимы, при которых не обеспечивается нормативное качество горячей воды. Можно с полной уверенностью утверждать, что в переходные периоды отопительного периода, когда температура воды после систем отопления существенно ниже 44°C, режим работы систем горячего водоснабжения будет негативно влиять на энергетическую эффективность ТЭЦ. Реальным выходом из сложившейся ситуации может быть снижение нормативной температуры горячей воды до 55°C и увеличение диапазона её регулирования [15], пересмотр методики формирования норматива расхода тепловой энергии на подогрев воды или отказ от этого норматива. При таких параметрах санитарно-гигиеническая надежность систем не будет ухудшаться и появляется возможность реализовать потенциал энергосбережения скрытый, в системах горячего водоснабжения.

Заключение

1. Расчетная величина норматива расхода тепловой энергии, используемой на подогрев холодной воды, не отвечает реальным условиям работы систем горячего водоснабжения. Несоответствие норматива обусловлено необходимостью выдерживать более высокую температуру горячей воды в системе теплоснабжения для обеспечения нормативных показателей качества у потребителей и поддерживать избыточный циркуляционный расход для компенсации тепловых потерь в периоды минимального водоразбора.

2. Известные и широко применяемые статические методы регулирования путем ограничения циркуляционного расхода дроссельными диафрагмами или установкой термостатических клапанов не позволяют приблизить фактическое теплотребление к установленным нормативным значениям и могут приводить к нарушению действующих показателей качества горячей воды.

3. Эффективность работы систем горячего водоснабжения можно существенно повысить путем динамического регулирования расхода и температуры циркуляционной воды с учетом суточной и недельной неравномерности режима их работы.

4. В системе теплоснабжения г. Ульяновска на ряде жилых домов реализовано динамическое регулирование нагрузки системы горячего водоснабжения. Несмотря на доказанную эффективность, при таком способе регулирования также не достигается расчетное значение норматива расхода тепловой энергии на подогрев воды для ГВС и отсутствует возможность значительного снижения температуры в циркуляционном трубопроводе из-за нормативных требований к качеству горячей воды в точках водоразбора.

5. Для повышения эффективности применяемых способов регулирования необходимо законодательно увеличить диапазон возможного регулирования температуры горячей воды. Кратковременное понижение температуры горячей воды до 50–55 °С не скажется на санитарной надежности систем горячего водоснабжения.

6. На наш взгляд, существующий метод расчета потребления в системах горячего водоснабжения не позволяет определять фактический расход тепловой энергии. Целесообразно пересмотреть методологию формирования норматива расхода тепловой энергии на подогрев воды или отказаться от метода расчета по нормативу.

Литература

1. Рафальская Т.А. Исследование возможности организации низкотемпературного теплоснабжения при центральном качественном регулировании / Теплоэнергетика. 2019. № 11. С. 102-112.
2. Xiaofang S., Peng W., Panhong R., Hua Z. The Influence of Central Regulation Methods upon Annual Heat Loss in Heating Network // MATEC Web of Conferences. 2016. 54 06004. doi: 10.1051/mateconf/20165406004
3. Администрация города Ульяновска: официальный сайт. Актуализированная схема теплоснабжения муниципального образования «город Ульяновск» до 2029 года. Доступно по: URL: <http://ульяновск.рф/ru/content/2029-2>. Ссылка активна на: 28.11.2020 г.
4. Администрация городского округа Самара. Актуализированная схема теплоснабжения городского округа Самара на период до 2032 года. URL: <https://www.samadm.ru/docs/official-publication/22345>. Ссылка активна на 28.11.2020 г.
5. Звонарева Ю.Н., Ваньков Ю.В. Работа системы теплоснабжения при поэтапном внедрении автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017. Т. 19. С. 31-40.
6. Кикоть Е.А., Газизов Ф.Н. Выбор структуры тепловой генерации в городах РФ при актуализации схем теплоснабжения. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22(5). С. 71-82.
7. Рафальская Т.А. Мансуров Р.Ш. Оценка влияния температуры воды в системе горячего водоснабжения на температурный режим помещений // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. С. 42-49.
8. Семенов В.Г. Нормативы на подогрев горячей воды // Новости теплоснабжения. № 6-7. 2018. С. 8–17.
9. Rotov P.V., Sivukhin A.A., Gafurov R. A., Rotova M.A. About standards for hot water heating // Journal of Physics: Conference Series . 2020. Т. 1683. С. 042017.
10. Rotov P.V., Zhukov D.A., Zhukova A.V., Sivukhin A.A. About economy of fuel and resources in the hot water supply system // Journal of Physics: Conference Series . 2017. Т. 891. С. 012160.
11. Ротов П.В. Сивухин А.А. Оценка эффективности технологий регулирования нагрузки горячего водоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2016. № 6. С. 22-28.
12. Tumanova T., Cimbale A. The Technical-Economic Analysis of Hot Water Supply Systems for Residential Buildings // Proceedings of REHVA Annual Conference 2015 “Advanced HVAC and Natural Gas Technologies” (Riga, Latvia, May 6 – 9). 2015. pp. 177–183. doi: 10.7250/rehvaconf.2015.025.
13. Яковлев, Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. М.: Новости теплоснабжения, 2008. 448 с.

14. Замалеев М.М., Шарапов В.И., Губин И.В., Павлов В.А. Технико-экономическое обоснование новых технологий утилизации снега на ТЭЦ. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2016. № 11-12. С. 3–9.

15. Pieper H, Ommen T S, Markussen W B and Elmegaard B 2017 Optimal Usage of Low Temperature Sources to Supply District Heating by Heat Pumps Proc. of ECOS 2017: 30th International Conference of Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (San Diego, California, USA, 2–6 July 2017) http://orbit.dtu.dk/files/134463914/ECOS_2017_paper_191.pdf.

Авторы публикации

Ротов Павел Валерьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова», Ульяновский государственный технический университет.

Сивухин Андрей Александрович – начальник производственно-технического отдела УМУП «Городской теплосервис».

Ротова Марина Александровна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова», Ульяновский государственный технический университет.

Гафуров Рустам Абдул-Ахатьевич – аспирант кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция им. В.И. Шарапова», Ульяновский государственный технический университет.

Гориков Алексей Викторович – руководитель группы режимов и наладки филиала «Ульяновский» ПАО «Т Плюс».

References

1. Rafalskaya TA. Investigation of the possibility of organizing low-temperature heat supply with central quality contro. *Thermal Engineering*. 2019;11:102-112.

2. Xiaofang S, Peng W, Panhong R, Hua Z. The Influence of Central Regulation Methods upon Annual Heat Loss in Heating Network. MATEC Web of Conferences. 2016. 54 06004. doi: 10.1051/mateconf/20165406004.

3. Administration of the city of Ulyanovsk: official website. Updated heat supply scheme of the municipality «city of Ulyanovsk» until 2029. URL: <http://ульяновск.рф/ru/content/2029-2>. Circulation Date: 28.11.2020

4. Administration of the urban district of Samara. The updated heat supply scheme of the Samara city district for the period until 2032 is URL: <https://www.samadm.ru/docs/official-publication/22345>. Circulation Date: 28.11.2020

5. Zvonareva YuN., Vankov YuV. The work of the heat supply system with the phased introduction of automated individual heat points // *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS*. 2017;19:31-40.

6. Kikot EA, Gazizov FN. Choosing the structure of thermal generation in Russian cities when updating heat supply schemes. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS*. 2020. T22(5). pp. 71-82.

7. Rafalskaya TA, Mansurov RSh. Assessment of the influence of water temperature in the hot water supply system on the temperature regime of premises. *Water supply and sanitary equipment*. 2017. pp. 42-49.

8. Semenov VG. Standards for Hot Water Heating. *Heat Supply News*. 2018;6-7:8-17.

9. Rotov PV, Sivukhin AA, Gafurov RA, et al. About standards for hot water heating. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1683:042017.

10. Rotov PV, Zhukov DA., Zhukova AV, et al. About economy of fuel and resources in the hot water supply system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017;891:012160.

11. Rotov PV, Sivukhin AA. Evaluation of efficiency of hot water supply load control technologies. *Energy saving and water treatment*. 2016;6:22–28.

12. Tumanova T, Cimbale A. The Technical-Economic Analysis of Hot Water Supply Systems for Residential Buildings. *Proceedings of REHVA Annual Conference 2015 Advanced HVAC and Natural Gas Technologies* (Riga, Latvia, May 6-9). 2015;177–183. doi: 10.7250/rehvaconf.2015.025.

13. Yakovlev BV. Improving the efficiency of heating and heat supply systems. M.: Heat supply news. 2008. 448 p.

14. Zamaleev MM, Sharapov VI, Gubin IV, et al. Feasibility study of new technologies for snow utilization at CHPP. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS*. 2016;11-12:3–9.

15. Pieper H, Ommen T S, Markussen W B and Elmegaard B 2017 Optimal Usage of Low Temperature Sources to Supply District Heating by Heat Pumps Proc. of ECOS 2017: 30th International Conference

© П.В. Ротов, А.А. Сивухин, М.А. Ротова, Р.А. Гафуров, А.В Горшков

of Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (San Diego, California, USA, 2–6 July 2017) http://orbit.dtu.dk/files/134463914/ECOS_2017_paper_191.pdf.

Authors of the publication

Pavel V. Rotov – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia.

Andrey A. Sivukhin – City Heating Service, Ulyanovsk, Ulyanovsk, Russia.

Marina A. Rotova – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia.

Rustam A. Gafurov – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia.

Alexey V. Gorshkov – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk Russia.

Получено

10 ноября 2020г.

Отредактировано

27 ноября 2020г.

Принято

9 декабря 2020г.