

УДК 697.343

Некоторые особенности управления системой теплоснабжения зданий, подключенных по зависимой схеме к источнику тепла

Игорь Сергеевич КОНСТАНТИНОВ, доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности, директор института инженерных технологий и естественных наук, e-mail: ViceRectorScience@bsu.edu.ru
ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
308015 Белгород, ул. Победы, 85

Сергей Сергеевич ФЕДОРОВ, преподаватель, e-mail: ssfedorov@list.ru
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», 305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

***Аннотация.** Предложена схема отопительной системы, в которой исключен один из управляющих клапанов, для выполнения его функции используется смесительный насос. Такое техническое решение дает возможность снизить стоимость системы теплоснабжения, повысить ее надежность и оптимизировать производственные затраты на обеспечение теплом обслуживаемых зданий. Разработана модифицированная схема многоконтурной системы теплоснабжения, в которой учитывается зависимость между производительностью управляющего клапана и смесительного устройства в каждом отопительном контуре. Минимизация энергетических затрат по данной схеме осуществляется с помощью рационального распределения тепловой энергии между отопительными контурами. Предложен алгоритм управления многоконтурной системой теплоснабжения с зависимым подключением к тепловым сетям, обеспечивающий сокращение энергопотребления в системе при заданных температурных режимах в отапливаемых помещениях. В соответствии с данным алгоритмом тепловая энергия перераспределяется между контурами теплоснабжения с учетом их взаимодействия.*

***Ключевые слова:** система управления, теплоснабжение, алгоритм, математическая модель, ресурсосбережение, выбор режима, теплопроводность.*

SOME FEATURES OF CONTROL OVER HEAT SUPPLY SYSTEM OF BUILDINGS CONNECTED TO HEAT SOURCE BY DEPENDENT SCHEME

Igor S. KONSTANTINOV, e-mail: ViceRectorScience@bsu.edu.ru

Belgorod State National Research University, Pobedy ul., 85, Belgorod 308015, Russian Federation

Sergey S. FEDOROV, e-mail: ssfedorov@list.ru

Southwest State University, ul. 50 let Oktyabrya, 94, Kursk 305040, Russian Federation

Abstract. A scheme of heating system in which one of the control valves is excluded and for realization of its functions the mixing pump is used is offered. Such technical solution gives the chance to reduce the cost of heat supply system, to increase its reliability and to optimize production costs of providing the served buildings with heat. The modified scheme of multiple-loop system of heat supply in which dependence between efficiency of the control valve and the mixing device in each heating contour is considered has been developed. Minimization of a metabolic cost in this scheme is carried out due to the rational distribution of thermal energy between heating contours. The algorithm of management of the multiple-loop system of heat supply with dependent connection to thermal networks providing the minimization of energy consumption in system at the given temperature schedules in the heated premises is offered. According to this algorithm, the thermal energy is redistributed between heat supply contours with due regard for their interaction.

Key words: control system, heat supply, algorithm, mathematical model, resource-saving, mode choice, heat conductivity.

В настоящее время в России до 85 % зданий обеспечиваются централизованным теплоснабжением для создания требуемого температурного режима в помещениях. Расходы на тепловую энергию, большая часть которой тратится на отопление зданий, составляют основную статью коммунальных платежей. В этой связи энергосбережение и поддержание комфортных параметров микроклимата зданий – важнейшие задачи, решение которых направлено на повышение качества жизни населения.

Наиболее распространенными и сравнительно экономичными являются системы теплоснабжения с зависимым подключением к тепловым сетям. Для снижения энергоемкости этих систем требуется оптимизация их функционирования. Исследования и практика последних лет показывают, что существенно сократить затраты на теплоснабжение зданий позволяет рациональное управление процессом распределения тепловых потоков.

В современных системах теплоснабжения снижение энергозатрат при непрерывном поддержании температуры внутреннего воздуха отапливаемых зданий достигается в основном с помо-

щью управления температурой прямого теплоносителя по специальному графику (с учетом температур обратного теплоносителя и наружного воздуха) и перехода от рабочего дневного режима отопления к экономичному ночному режиму (для производственных и общественных зданий). Основным недостатком таких систем заключается в том, что управление осуществляется без учета информации о динамических характеристиках системы. Это, в силу инерционности объекта, приводит к длительным переходным процессам, неизбежным колебаниям температуры внутреннего воздуха отапливаемых зданий и перерасходу тепловой энергии.

С учетом высокой стоимости решений по управлению индивидуальной подачей теплоносителя в отопительные приборы важное значение приобретает разработка структур и алгоритмов работы систем, расширяющих функции известных и апробированных способов отопления, основанных на местном и пофасадном управлении. Их внедрение требует на порядок меньше затрат, чем реализация индивидуального управления теплоносителем в отопительных приборах. Совершенствова-

ние способов управления теплопотреблением фасадов повысит эффективность их применения. Однако для такой модернизации необходима разработка адекватных математических моделей, позволяющих исследовать особенности управления системами многоконтурного теплоснабжения зданий с зависимым присоединением к тепловым сетям.

Проектирование многоконтурных отопительных систем должно осуществляться на основе системного подхода, в рамках которого функционирование всех контуров теплоснабжения рассматривается в их взаимодействии и взаимосвязи. Поэтому создание эффективных средств управления процессом теплоснабжения, базирующихся на своевременной обработке информации о контролируемых параметрах и учете взаимного влияния тепловых контуров, является актуальной научно-технической задачей.

В общем случае отопительный контур любого здания или группы сооружений представим как многоконтурную систему отопления (рис. 1), где каждая из ветвей может являться самостоятельной, в том числе и многоконтурной, системой отопления. Такая иерархическая структура системы управ-

ления требует построения единого алгоритма на каждом из уровней. Проблемам повышения ресурсоэффективности сложных многоуровневых объектов посвящены работы [1–4].

Для создания алгоритма управления рассмотрим вариант пофасадной системы отопления здания, в которой каждый контур (ветвь) соответствует заданному наружному фасаду. Нормативные схемы управления системы теплоснабжения при зависимом присоединении к тепловым сетям проанализированы в работах [5, 6], а также предложен модифицированный вариант, позволяющий повысить эффективность их работы. В работе [5] получено выражение для расчета температуры теплоносителя в точке t_{Ai}

$$t_{Ai} = t_k(\bar{k} + 1) - \bar{k}t_{hi}, \quad (1)$$

где t_{hi} — температура наружного воздуха на i -м фасаде, °С; t_k — нормируемая температура внутреннего воздуха отапливаемого здания, °С; \bar{k} — безразмерная константа, зависящая от теплофизических свойств i -го фасада.

На основе теплового баланса i -й ветви системы теплоснабжения (см. рис. 1) с использованием соотношения (1) разработан алгоритм управления системой многоконтурного теплоснабжения при зависимом присоединении к тепловым сетям [7], блок-схема которого приведена на рис. 2.

Алгоритм управления системой многоконтурного теплоснабжения включает в себя четыре этапа. На первом этапе проводится мониторинг текущих значений наружных температур на каждом контуре с определением разности показаний по сравнению с результатами предшествующего измерения. На втором этапе, учитывая изменение температуры наружного воздуха каждого контура, рассчитывается необходимое изменение расхода теплоносителя на i -м контуре и суммарное общее

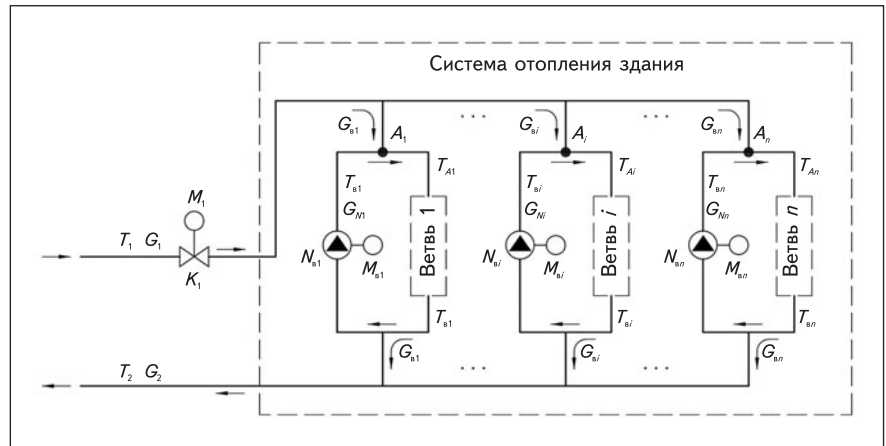


Рис. 1. Модифицированная схема оптимального управления расходом теплоносителя по ветвям системы отопления (n -количество ветвей)

изменение расхода теплоносителя, проходящего через главный исполнительный механизм. На третьем и четвертом этапах формируется и выдается управляющее воздействие на главный и i -й исполнительные механизмы.

Разработанный алгоритм дает возможность в случае, когда работу контуров системы следует преобразовать, а суммарный расход теплоносителя не изменяется, перераспределить тепловые потоки между контурами системы. Это позволяет достичь максимальной эффективности работы системы управления при минимальных затратах теплоносителя. В предложенном алгоритме управляющей переменной служит температура наружного воздуха, что дает возможность снизить колебания температуры внутреннего воздуха с помощью упреждающего изменения параметров теплоносителя, подаваемого в систему отопления каждого контура с учетом времени запаздывания системы. Использование алгоритма управления распределением тепловых потоков улучшает энергетические показатели системы теплоснабжения, что увеличивает срок службы зданий и сооружений [8–12].

В работе [13] получена формула, характеризующая температурный режим в точке смешения A

$$t_A = t_k \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_3 - \tau}{T}\right) \right] + t_1 \exp\left(-\frac{\tau_3 - \tau}{T}\right), \quad (2)$$

где t_A , t_1 — температура теплоносителя соответственно в точке смешения A и в подающем трубопроводе, °С; t_k — температура воздуха в отапливаемом помещении, °С; τ — время, с; τ_3 — время полного запаздывания в переходном процессе, с; T — постоянная времени системы отопления.

При $t_A > t_2$ получим

$$t_A = t_k \left[1 - \exp\left(-\frac{\tau_3 - \tau}{T}\right) \right] + t_1 \exp\left(-\frac{\tau_3 - \tau}{T}\right) > t_2, \quad (3)$$

где t_2 — температура теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления.

Преобразуем формулу (3) к виду, удобному для логарифмирования:

$$\frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k} > \exp\left(-\frac{\tau_3 - \tau}{T}\right). \quad (4)$$

Если $t_1 > t_2 > t_k$, то $\frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k} > 1$.

Для основания натурального логарифма $e \approx 2,718 > 1$ справедливо неравенство $\exp\left(-\frac{\tau_3 - \tau}{T}\right) \geq 1$.

Учитывая это, прологарифмируем неравенство (4), сохранив его знак:

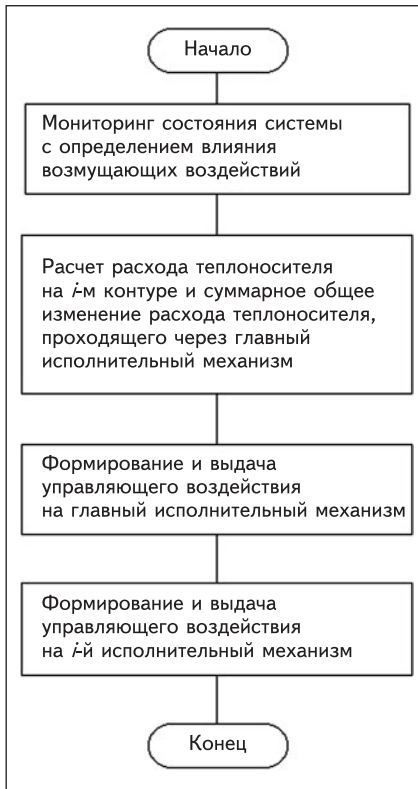


Рис. 2. Блок-схема алгоритма управления системой теплоснабжения

$$\ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k} > \frac{\tau_3 - \tau}{T} \quad (5)$$

Отсюда следует

$$\tau < \tau_3 + T \ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k}; \quad (6)$$

$$\frac{\tau_3 - \tau}{T} \geq 0; \quad (7) \quad \tau \geq \tau_3. \quad (8)$$

Таким образом, увеличение температуры в тепловой нагрузке R начинается с момента поступления нагретого теплоносителя (при $\tau = \tau_3$) в точку A [4].

С учетом выражений (6) и (8) получим

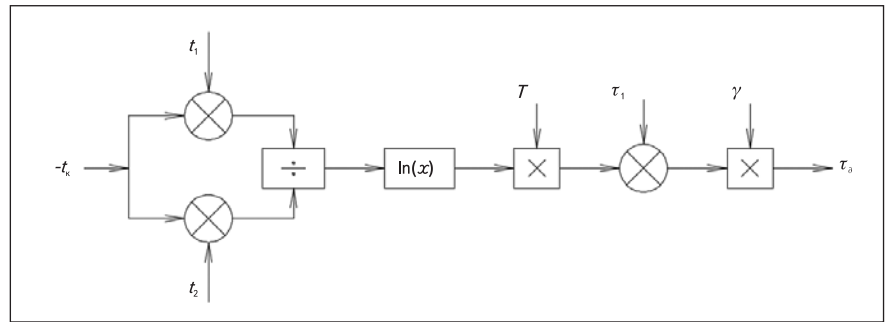


Рис. 3. Схема определения времени перезапуска алгоритма управления системой теплоснабжения при зависимом присоединении к источнику тепла

$$\tau_3 \leq \tau < \tau_3 + T \ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k}. \quad (9)$$

Неравенство (9) позволяет определить период времени τ_δ запуска алгоритма управления системой теплоснабжения при зависимом подключении к источнику тепла:

$$\tau_\delta = \gamma \left(\tau_3 + T \ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k} \right), \quad (10)$$

где $\gamma \in (0; 1)$ – заданная константа.

Подставляя τ_δ в формулу (2) и учитывая дискретность, представим выражение как

$$t_A(\tau_\delta) = t_k + (t_1 - t_k) \times \quad (11)$$

$$\times \exp \left(\frac{\gamma n}{T} \left(\tau_3 + T \ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_k} \right) \right) > t_2.$$

Преобразуем это неравенство к виду

$$\exp \left(\frac{\gamma n \tau_3}{T} \right) (t_1 - t_k)^{\gamma n + 1} > (t_2 - t_k)^{\gamma n + 1}. \quad (12)$$

В результате выполненных расчетов получен интервал вре-

мени τ_δ для перезапуска алгоритма управления при зависимом присоединении к источнику тепла, схематично приведенный на рис. 3.

Выводы

1. Предложено решение актуальной научно-технической задачи по разработке модифицированной схемы и алгоритма управления многоконтурной системой теплоснабжения с зависимым подключением к тепловым сетям. Применение данных средств позволяет минимизировать энергетические затраты на поддержание комфортных температурных условий в зданиях в отопительный период при изменяющихся погодноклиматических воздействиях.

2. На основе анализа полученных результатов разработана структурная схема определения временных интервалов запуска алгоритма управления системой теплоснабжения при зависимом подключении к тепловым сетям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ivashchuk O. A., Konstantinov I. S. Human resources potential as an object of automated control [Потенциал человеческих ресурсов как объект автоматизированного контроля] // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 12. Рр. 31371–31380.
2. Ivashchuk O. A., Konstantinov I. S. Smart control system of human resources potential of the region [Интеллектуальная система управления потенциалом человеческих ресурсов региона] // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2015. Т. 41. Рр. 481–490.
3. Константинов И. С., Иващук О. А. Автоматизированная система управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 8. С. 44–49.
4. Федоров С. С., Тютюнов Д. Н., Ключева Н. В., Студеникина Л. И. К вопросу моделирования процесса управления системой теплоснабжения ресурсоэффективных зданий // Строительство и реконструкция. 2014. № 1(51). С. 92–95.
5. Федоров С. С., Чернецкая И. Е. Автоматизирован-

ная система управления процессом теплоснабжения промышленных предприятий // Строительство и реконструкция. 2014. № 4(54). С. 72–77.

6. Федоров С. С. Система управления процессом теплоснабжения промышленных предприятий при зависимом присоединении к тепловым сетям // Строительство и реконструкция. 2014. № 5(55). С. 106–110.
7. Константинов И. С., Федоров С. С. Алгоритм управления системой многоконтурного теплоснабжения зданий и сооружений // Строительство и реконструкция. 2015. № 6(62). С. 107–111.
8. Бондаренко В. М., Ключева Н. В., Колчунов В. И., Андросова Н. Б. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести // Строительство и реконструкция. 2012. № 4. С. 3–16.
9. Андросова Н. Б., Ключева Н. В., Колчунов В. И. Некоторые предложения к нормированию параметров живучести сооружений // Вестник Центрального регионального отделения Российской акаде-

мии архитектуры и строительных наук. 2011. № 15. С. 17.

10. Ключева Н. В., Колчунов В. И., Бухтиярова А. С. Ресурсоэнергосберегающая конструктивная система жилых и общественных зданий с заданным уровнем конструктивной безопасности // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 2. С. 37–41.
11. Ключева Н. В., Яковенко И. А., Усенко Н. В. К расчету ширины раскрытия наклонных трещин третьего типа в составных железобетонных конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 2. С. 8–11.
12. Травуш В. И., Колчунов В. И., Ключева Н. В. Некоторые направления развития теории живучести конструктивных систем зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 4–11.
13. Федоров С. С., Ключева Н. В., Бакаева Н. В. Оптимизация процесса управления системой теплоснабжения зданий // Строительство и реконструкция. 2015. № 5(61). С. 90–95.

REFERENCES

1. Ivashchuk O. A., Konstantinov I. S. Human resources potential as an object of automated control. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 12, pp. 31371–31380.
2. Ivashchuk O. A., Konstantinov I. S., Udovenko I. V. Smart control system of human resources potential of the region. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2015, vol. 41, pp. 481–490.
3. Konstantinov I. S., Ivashchuk O. A. Automated control system of environmental safety in industry and transport. *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tekhnologij*, 2009, no. 8, pp. 44–49. (In Russian).
4. Fedorov S. S., Tyutyunov D. N., Klyueva N. V., Studenikina L. I. The problem of modeling of the process control system of a heat supply of resource efficient buildings. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2014, no. 1(51), pp. 92–95. (In Russian).
5. Fedorov S. S., Cherneckaya I. E. Automated process control system of a heat supply of industrial enterprises. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2014, no. 4(54), pp. 72–77. (In Russian).
6. Fedorov S. S. The process control system of a heat supply of the industrial enterprises in a dependent association to calorific nets. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2014, no. 5(55), pp. 106–110. (In Russian).
7. Konstantinov I. S., Fedorov S. S. The control algorithm is a multi-circuit system of heat supply of buildings and structures. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2015, no. 6(62), pp. 107–111. (In Russian).
8. Bondarenko V. M., Klyueva N. V., Kolchunov V. I., Androsova N. B. Some of the results of the analysis and synthesis of scientific research on the theory of constructive security and survivability. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2012, no. 4, pp. 3–16. (In Russian).
9. Androsova N. B., Klyueva N. V., Kolchunov V. I. Some suggestions for the valuation parameters of the survivability of structures. *Vestnik central'nogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk*, 2011, no. 15, p. 17. (In Russian).
10. Klyueva N. V., Kolchunov V. I., Buhtiyarova A. S. Resource-energy saving structural system for residential and public buildings with a preset level of structural safety *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 2, pp. 37–41. (In Russian).
11. Klyueva N. V., Yakovenko I. A., Usenko N. V. On calculation of width of opening of inclined cracks of the third type in composite reinforced concrete. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 2, pp. 8–11. (In Russian).
12. Travush V. I., Kolchunov V. I., Klyueva N. V. Some directions of development of survivability theory of structural systems of buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 3, pp. 4–11. (In Russian).
13. Fedorov S. S., Klyueva N. V., Bakayeva N. V. Optimization of the process control system of a heat supply of buildings. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2015, no. 5(61), pp. 90–95. (In Russian).

Для цитирования: Константинов И. С., Федоров С. С. Некоторые особенности управления системой теплоснабжения зданий, подключенных по зависимой схеме к источнику тепла // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 2. С. 75–79.

For citation: Konstantinov I. S., Fedorov S. S. Some features of control over heat supply system of buildings connected to heat source by dependent scheme. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2016, no. 2, pp. 75–79. (In Russian). ■