

АЛГОРИТМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

С.А. Панфилов, О.В. Кабанов

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

Данная статья посвящена описанию разработанного алгоритма энергосбережения для автономных систем теплоснабжения, устанавливаемых в отапливаемых помещениях. Одним из способов оптимизации энергопотребления в отапливаемых сооружениях, является применение систем с предустановленным в них алгоритмом управления, в целях экономии энергоресурсов. Разработанный алгоритм позволяет без применения датчиков окружающей температуры, по результатам исследований активной работы системы теплоснабжения, в зависимости от температуры окружающей среды и времени разогрева объекта с минимально допустимой температуры до номинальной, определять оптимальный момент включения для перехода до заданной номинальной температуры после режима поддержания установленной минимально допустимой температуры. Полученные зависимости дают возможность повысить эффективность существующих систем управления теплоснабжением, способствуют снижению затрат и сокращению срока окупаемости автоматизированной систем управления теплоснабжением.

Ключевые слова: алгоритм, энергосбережение, теплоснабжение, эффективность, автономное теплоснабжение, автоматизация, время разогрева.

Введение. За последние годы согласно исследованиям, проводимым российскими и зарубежными авторами, опубликовано значительное количество работ, связанных с рассмотрением вопросов автоматизации режимов работы автономных (децентрализованных) систем теплоснабжения [1]. Установлено, что одним из способов оптимизации энергопотребления в отапливаемых сооружениях, является применение систем с предустановленным в них алгоритмом управления, в целях экономии энергоресурсов [2]. Основным преимуществом автономных систем теплоснабжения с предустановленным алгоритмом действий является, согласно [3], независимое обеспечение теплом потребителя и возможность эффективного регулирования системы теплоснабжения. Системы автономного теплоснабжения широко применяются в загородных домах, минимаркетах, торговых павильонах, на автозаправочных станциях, там, где объекты не могут быть подключены к системе централизованного теплоснабжения. Отметим также, что за последние годы в управлении автономных систем теплоснабжением появились управляющие устройства (контроллеры), направленные на энергосбережение ресурсов. Использование контроллеров в системах автономного теплоснабжения для поддержания требуемой температуры воздуха в помещении приобретает всё большее значение в связи с ростом тарифов на энергоресурсы. Контроллеры для управления системой теплоснабжения выпускаются как отечественными, так и зарубежными производителями. На сегодняшний день наиболее известны контроллеры систем теплоснабжения американской корпорации Honeywell, выпускающей электронные системы управления и автоматизации, контроллеры рос-

сийской фирмы «ОВЕН», производящей оборудование для автоматизации, контроллеры для автоматизированных систем управления, выпускаемые швейцарской фирмой T.A.C, контроллеры фирм «Тритон», «Контар», Automix, Simens, EQJW, Danfos, Smile SDC, RVD230 и т. д. Данные контроллеры имеют широкие возможности для эффективного управления теплоснабжением.

Основная часть. Анализ свойств существующих систем управления теплоснабжением показал, что, тем не менее, имеются дополнительные возможности совершенствования систем управления, которые позволят повысить эффективность автономных систем теплоснабжения.

Известны автоматизированные системы теплоснабжения с различными алгоритмами управления, которые в период отсутствия владельцев дома или в нерабочее время в производственных помещениях программно снижают температуру в помещении, с целью экономии энергоресурсов [2–7]. Актуальной для существующих систем является проблема определения оптимального интервала времени для повышения температуры в помещении до номинальной к моменту появления владельцев дома или к началу производственной деятельности. В настоящей статье предлагается алгоритм дискретного управления отоплением с точным выходом на режим номинальной температуры в требуемый момент времени. В режиме энергосбережения осуществляется поддержание температуры в помещении на минимально допустимом уровне.

Приведём обозначения:

$T_{\text{Вmin}}$ – минимально допустимая температура в помещении в режиме энергосбережения, $T_{\text{Вном}}$ – номинальная температура в помещении соответствующая заданным условиям, $T_{\text{окр}}$ – температура

Инженерное оборудование зданий и сооружений

окружающей среды, K_a – коэффициент активной работы системы теплоснабжения в режиме дискретной термостабилизации при температуре $T_{\text{Вmin}}$.

$$K_a = t_{\text{раб}} / t_{\text{под}} = P_{\text{затр}} / P_{\text{уст}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{раб}}$ – время активной работы системы теплоснабжения за время $t_{\text{под}}$, $P_{\text{затр}}$ – средняя потребляемая мощность, $P_{\text{уст}}$ – номинальная мощность источника теплоснабжения.

Для формирования базовой зависимости алгоритма:

1) фиксируются экспериментальные данные и находится зависимость $K_a = f(T_{\text{окр}})$, представленная на рис. 1;

2) находится зависимость времени непрерывной работы системы теплоснабжения $t_{\text{вр.р}}$ для перехода от температуры $T_{\text{Вmin}}$ до $T_{\text{Вном}}$ для различных температур окружающей среды. На рис. 2 представлен график зависимости $t_{\text{вр.р}} = f(T_{\text{окр}})$;

3) совмещение приведённых выше зависимостей позволяет получить новую $t_{\text{вр.р}} = f(K_a)$. На рис. 3 представлен график зависимости $t_{\text{вр.р}} = f(K_a)$.

Табличные значения последней зависимости дают значения времени разогрева помещения и момента включения системы теплоснабжения для безусловного выполнения требований по температуре помещения.

Для получения зависимости времени разогрева от коэффициента активной работы требуется выявление зависимостей $K_a = f(T_{\text{окр}})$, $t_{\text{вр.р}} = f(T_{\text{окр}})$, что не всегда возможно из-за ограничений во времени.

В качестве альтернативного варианта разработана переносная автоматизированная установка для определения теплофизических свойств и программа управления для неё [16]. С её помощью по проведённому эксперименту в исследуемом объекте определяем необходимые коэффициенты и значения по следующему алгоритму:

1. Задаётся температура на объекте – T_b .

2. Определяем среднюю окружающую температуру за время проведения исследования, °С:

$$\bar{T}_{\text{окр}} = (\sum T_{\text{окр}i}) / n, \quad (2)$$

где $T_{\text{окр}i}$ – температура окружающей среды в i момент времени.

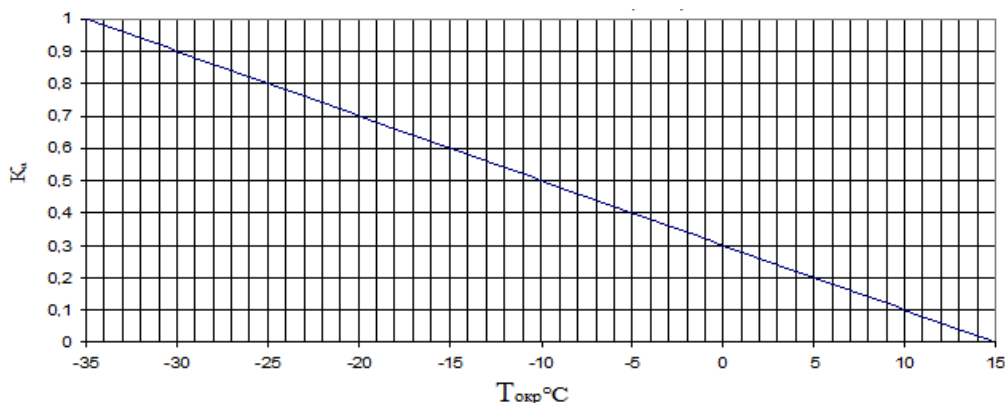


Рис. 1. Зависимость $K_a = f(T_{\text{окр}})$

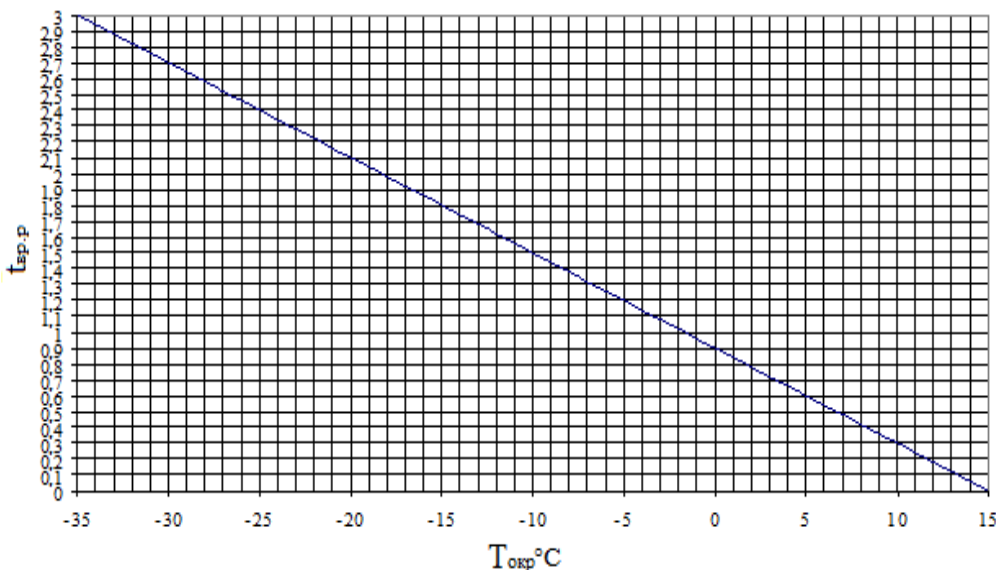
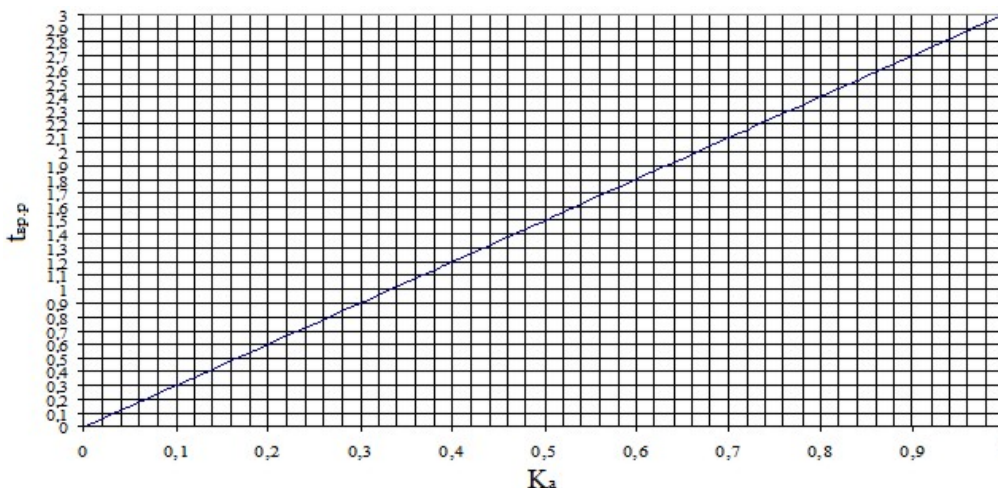


Рис. 2. Зависимость $t_{\text{вр.р}} = f(T_{\text{окр}})$

Рис. 3. Зависимость $t_{в,р} = f(K_a)$

3. Определяем общую площадь и объём объекта по наружному обмеру.

4. Определяем среднюю потребляемую мощность на поддержание заданной температуры, Вт:

$$P_{затр} = P_{уст} (t_{раб} / t_{под}). \quad (3)$$

5. Определяем коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C):

$$k = \frac{P_{затр}}{S_{общ} (\bar{T}_в - \bar{T}_{окр})}. \quad (4)$$

6. Определяем удельную тепловую характеристику q_0 , Вт/(м³·°C).

$$q_0 = \frac{P_{затр}}{V (\bar{T}_в - \bar{T}_{окр})}. \quad (5)$$

Было проведено исследование по апробации данного алгоритма действий.

В изготовленную модель был помещён источник тепла мощностью 262 Вт. После проведения всех необходимых действий, требующихся для проведения исследования, в данном объекте в течение определённого промежутка времени поддерживалась установленная температура $T_в = 25$ °C, температура окружающего воздуха в начальный момент проведения исследования составляла $T_{окр} = 14,8$ °C, в конце исследования – $T_{окр} = 15$ °C. Время проведения исследования составило 3600 с. Время работы источника теплоснабжения для поддержания температуры внутри объекта составило 455 с. По полученным в ходе исследования данным был рассчитан общий коэффициент теплопередачи k для исследуемого объекта, который составил 2,48 Вт/(м²·°C), расчётный коэффициент теплопередачи $k = 2,40$ определялся следующим образом.

Сопротивление теплопередаче для исследуемого объекта найдено из зависимости.

$$R_{расч} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (6)$$

где $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\alpha_в = 7,6$ Вт/(м²·°C); $\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\alpha_н = 6$ Вт/(м²·°C); λ_i – теплопроводность i слоя ограждающей конструкции, $\lambda_i = 0,12$ Вт/(м·°C), $\lambda_i = 0,0698$ Вт/(м·°C); δ_i – толщина i слоя ограждающей конструкции, $\delta_i = 0,010$ м, $\delta_i = 0,002$ м.

$$R_{расч} = \frac{1}{7,6} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,002}{0,0698} + \frac{1}{6} = 0,4170 \text{ Вт/(м}^2\text{·°C)}.$$

Расчётный коэффициент теплопередачи вычисляется по формуле:

$$k_{расч} = \frac{1}{R_{расч}};$$

$$k_{расч} = \frac{1}{0,4170} = 2,40 \text{ Вт/(м}^2\text{·°C)}.$$

Также была рассчитана удельная тепловая характеристика q_0 исследуемого объекта в целом, которая составила 33,45 Вт/(м³·°C).

Средняя потребляемая мощность, затрачиваемая на поддержание требуемой температуры внутри исследуемого объекта в зависимости от температуры окружающего воздуха, определяется по формуле с использованием коэффициента теплопередачи и с учётом общей площади исследуемого объекта по наружному обмеру, Вт:

$$P_{затр} = k S_{общ} (T_в - T_{окр}). \quad (7)$$

Средняя потребляемая мощность, затрачиваемая на поддержание требуемой температуры внутри исследуемого объекта в зависимости от температуры окружающего воздуха, определяется по формуле [8–11] с использованием удельной тепловой характеристики и объёма помещения по наружному обмеру, Вт:

$$P_{затр} = q_0 V (T_в - T_{окр}). \quad (8)$$

Инженерное оборудование зданий и сооружений

Коэффициент активной работы определяется по формуле (1).

Был проведен натурный эксперимент для проверки данных, полученных расчётным путём, по сравнению с экспериментальными.

Эксперимент проводился при $T_{\text{окр}}$ в интервале 6–12 °С.

На рис. 4 представлен график $K_a = f(T_{\text{окр}})$, полученный по экспериментальным и расчётным данным.

Для того чтобы найти время разогрева объекта в зависимости от окружающей температуры, необходимо знать уравнение теплового режима объекта.

Тепловой режим отапливаемого объекта может быть описан следующим дифференциальным уравнением [17, 18].

$$T_p \frac{d(T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}})}{dt_{\text{вр.п}}} + T_B = k_0 P_{\text{уст}} + T_p \frac{dT_{\text{окр}}}{dt_{\text{вр.п}}} + T_{\text{окр}} \quad (9)$$

где $T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}}$ – разница между окружающей и внутренней температурами в каждый момент времени $t_{\text{вр.п}}$, T_p – постоянная времени разогрева, k_0 – коэффициент передачи по каналу «мощность системы отопления – температура внутреннего воздуха» находится по следующей формуле:

$$k_0 = \frac{1}{q_0 V} \quad (10)$$

Для нахождения оптимального времени разогрева объекта воспользуемся уравнением, принятым в теории автоматического управления [12–14].

$$T_p \frac{d(T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}})}{dt_{\text{вр.п}}} + T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}} = k_0 P_{\text{уст}} \quad (11)$$

Для аналитического решения уравнения (11) методом разделения переменных приведем его к виду:

$$\frac{d(T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}})}{k_0 P_{\text{уст}} - T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}}} = \frac{dt_{\text{вр.п}}}{T_p} \quad (12)$$

Общим решением уравнения (11) будет функция

$$T_B(t_{\text{вр.п}}) - T_{\text{окр}} = k_0 P_{\text{уст}} - C \cdot \exp\left(-\frac{t_{\text{вр.п}}}{T_p}\right) \quad (13)$$

где C – постоянная интегрирования.

Для заданной окружающей температуры $T_{\text{окр}}$ и заданного начального значения внутренней температуры $T_B(0)$ находим значение C :

$$T_B(0) = T_{\text{окр}} + k_0 P_{\text{уст}} - C \cdot \exp\left(-\frac{t_{\text{вр.п}}}{T_p}\right); \quad (14)$$

$$C = T_{\text{окр}} - T_B(0) + k_0 P_{\text{уст}} \quad (15)$$

Решение уравнения (11) примет вид:

$$T_B(t_{\text{вр.п}}) = T_{\text{окр}} + k_0 P_{\text{уст}} - (T_{\text{окр}} - T_B(0) + k_0 P_{\text{уст}}) \cdot \exp\left(-\frac{t_{\text{вр.п}}}{T_p}\right) \quad (16)$$

Найдем постоянную T_p методом наименьших квадратов с использованием экспериментальных данных, полученных в ходе разогрева помещения при фиксированной мощности системы теплоснабжения. На рис. 5 представлен график разогрева объекта.

Пусть $T_B(t_{\text{вр.п}}) = \alpha + \beta \cdot \exp(x \cdot t_{\text{вр.п}})$, где $\alpha = T_{\text{окр}} + k_0 P_{\text{уст}}$, $\beta = T_{\text{окр}} - T_B(0) + k_0 P_{\text{уст}}$, необходимо найти x .

Поскольку x входит в степень экспоненты, то проще всего его будет найти, если составить функционал для метода наименьших квадратов как квадрат разницы натуральных логарифмов.

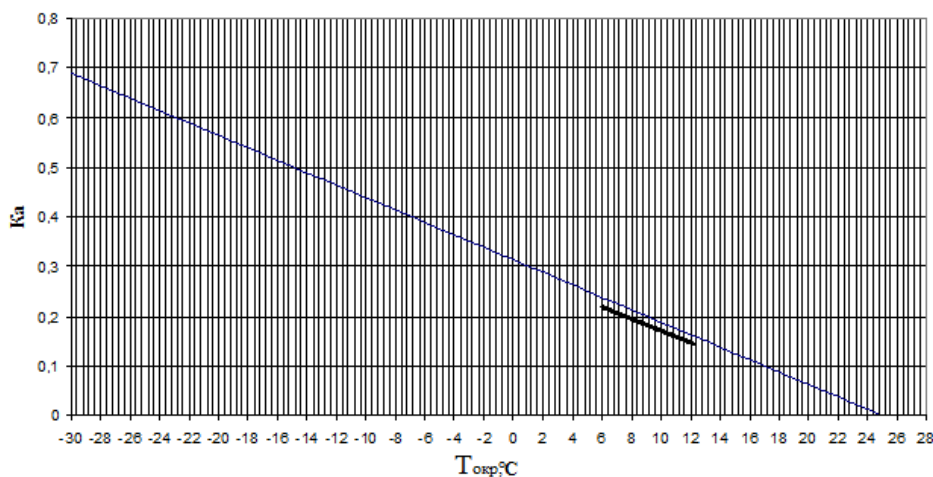


Рис. 4. График $K_a = f(T_{\text{окр}})$

$$F(t_{вр.р}) = \sum_{i=1}^n \left[\ln \left(\frac{T_{Ви} - \alpha}{\beta} \right) - x \cdot t_{вр.р,i} \right]^2 \quad (17)$$

Для нахождения минимума этого функционала найдем его производную по x и приравняем к 0.

$$\frac{dF(t_{вр.р})}{dt_{вр.р}} = \sum_{i=1}^n \left[\left(\ln \left(\frac{T_{Ви} - \alpha}{\beta} \right) - x \cdot t_{вр.р,i} \right) \cdot t_{вр.р,i} \right] = 0. \quad (18)$$

Решим полученное уравнение относительно x

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \left[t_{вр.р,i} \cdot \ln \left(\frac{T_{Ви} - \alpha}{\beta} \right) \right]}{\sum_{i=1}^n \left[t_{вр.р,i}^2 \right]}. \quad (19)$$

Подставляя экспериментальные данные, получаем $x \approx -0,1$.

Подставляя полученные данные, постоянная времени T_p для данного объекта составила 16,4 ч.

По полученным данным для $T_{окр}$ от -30 °С до

$+12$ °С строим график зависимости $t_{вр.р}$ от $T_{окр}$ по формуле:

$$t_{вр.р} = T_p \cdot \ln \left(\frac{T_{окр} - T_B(0) + k_0 P_{уст}}{T_{окр} + k_0 P_{уст} - T_{Вном}} \right). \quad (20)$$

На рис. 6 представлен график зависимости времени разогрева $t_{вр.р}$ от $T_{окр}$.

Объединение функциональных зависимостей, приведённых на рис. 4 и 6, позволяет получить зависимость $t_{вр.р} = f(K_a)$ по результатам эксперимента по определению теплофизических свойств объекта (рис. 7).

Закключение. Полученные зависимости дают возможность построить дискретный алгоритм управления, повышающий эффективность существующих систем управления теплоснабжением, способствующий снижению затрат и сокращению срока окупаемости автоматизированной систем управления теплоснабжением.

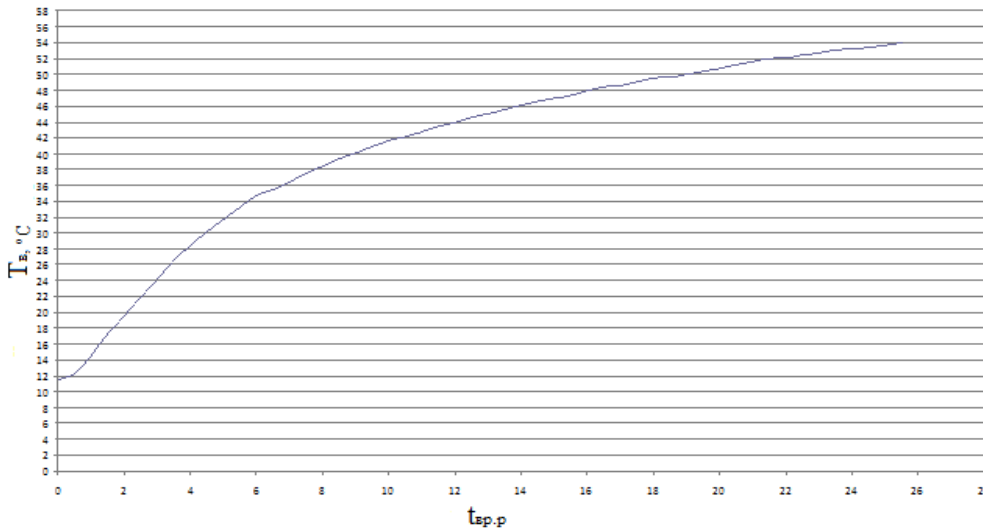


Рис. 5. Экспериментальная кривая в ходе разогрева исследуемого объекта

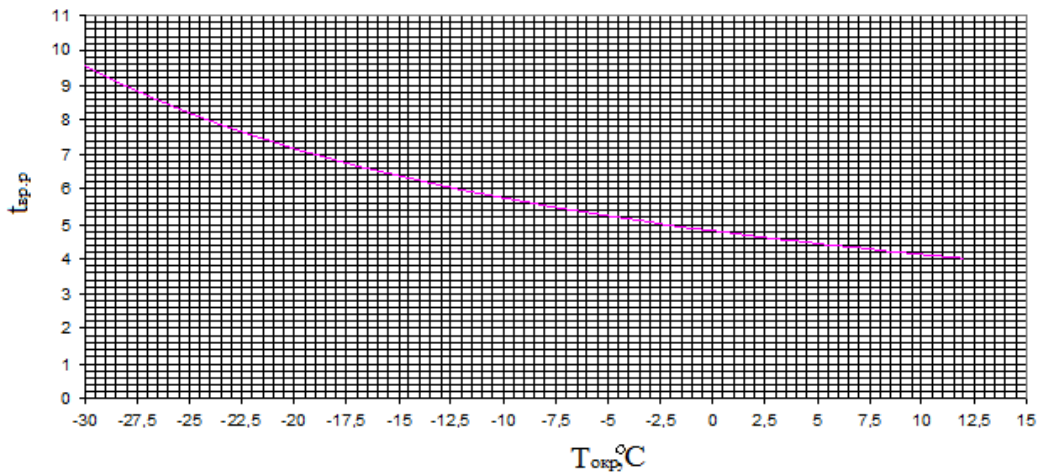


Рис. 6. Зависимость $t_{вр.р} = f(T_{окр})$ с учетом реальных теплофизических свойств

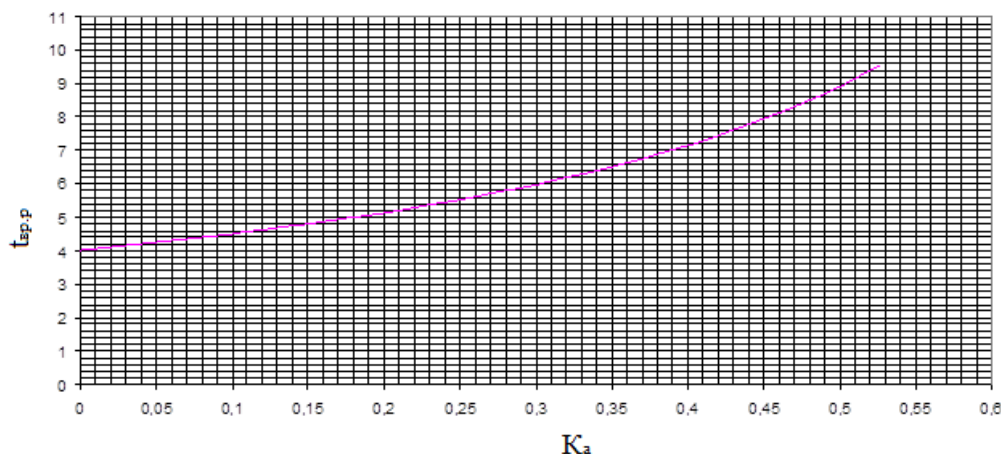


Рис. 7. Зависимость $t_{в,р} = f(K_a)$ с учетом реальных теплофизических свойств

Выводы. Эффективное управление системой теплоснабжения является одним из направлений исследования, направленного на оптимизацию потребления энергоресурсов. В основу разработанного алгоритма энергосбережения положено исследование активной работы системы теплоснабжения в режиме дискретной термостабилизации при минимальной температуре в помещении. Для формирования принципов управления фиксируются экспериментальные данные и находятся зависимости режима работы системы от совокупности влияющих величин. Исследование тепловых характеристик объекта позволяет с высокой точностью определить время для выхода из режима энергосбережения и начала нагрева помещения до рабочей температуры к заданному моменту времени. Полученные результаты позволяют оптимизировать режимы работы системы теплоснабжения с различными принципами действия. Оснащение существующих систем автономного теплоснабжения устройствами управления с предустановленным в них алгоритмом действий увеличивает срок эксплуатации оборудования, снижает затраты на оплату теплоснабжения.

Литература

1. *Autonomous heating systems based on solid-phase heat accumulators using night electric energy or/and surplus energy from wind power stations and/or solid fuel.* – https://www.enterprise-europe.co.uk/content/search/profile-detail/?Tech_Ref=12%20RU%2086FG%203P3H. (Дата обращения: 16.12.2015)
2. O'Driscoll, G. *Manage Your Smart Home With An App!*: / G. O'Driscoll. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. – 291 p.
3. Ziebig, A. *Energy Systems of Complex Buildings (Green Energy and Technology)* / A. Ziebig, K. Hoinka. – Springer, 2014. – 346 p.
4. Hollender, M. *Collaborative Process Automation Systems* / M. Hollender. – International Society of Automation, 2012. – 408 p.
5. *Fine Homebuilding, The Energy-Smart House.* Taunton Press, 2011. – 192 p.
6. *How to Reduce Your Home Energy Bills.* Centaur Media, 2014. – 163 p.
7. Yolande Strengers. *Smart Energy Technologies in Everyday Life: Smart Utopia.* Palgrave Macmillan, 2014. – 224 p.
8. Туркин, В.П. *Водяные системы отопления с автоматическим управлением* / В.П. Туркин. – М.: Стройиздат, 1976. – 268 с.
9. Сканави, А.Н. *Отопление: учебник для вузов* / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2002. – 575 с.
10. Богословский, В.Н. *Отопление: учебник для вузов* / В.Н. Богословский, А.Н. Скавани. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
11. Ермолаев, Н.С. *Проблемы теплоснабжения и отопления многоэтажных зданий* / Н.С. Ермолаев. – М.: Стройиздат, 1949. – 250 с.
12. Чистович, С.А. *Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления* / С.А. Чистович. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1975. – 159 с.
13. *Автоматика и автоматизация систем теплоснабжения и вентиляции* / А.А. Калмаков, Ю.А. Кувишинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов. – М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
14. Благих, В.Т. *Автоматическое регулирование отопления и вентиляции* / В.Т. Благих. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1964. – 212 с.
15. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2016612034 РФ.* Программа для системы автоматизированного определения теплофизических свойств исследуемого объекта / С.А. Панфилов, О.В. Кабанов, А.С. Хрёмкин. Дата гос. регистрации: 17.02.2016.
16. *Переносная автоматизированная установка для определения ТФС исследуемого объекта.* Заявка на полезную модель № 2016109487 от 16.03.2016 / С.А. Панфилов, О.В. Кабанов, А.С. Хрёмкин.

17. Нагорная, А.Н. Моделирование и управление тепловым режимом здания / А.Н. Нагорная, В.И. Панферов, Е.Ю. Пашина // Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснаб-

жения и вентиляции». – М.: МГСУ, 2005. – 280 с.

18. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – М.: Изд-во МЭИ. – 472 с.

Панфилов Степан Александрович, доктор технических наук профессор кафедры теоретической и общей электротехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), panphilovsa@gmail.com

Кабанов Олег Владимирович, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), jhostmc@mail.ru

Поступила в редакцию 28 октября 2016 г.

DOI: 10.14529/build170109

THE ENERGY-SAVING ALGORITHM FOR AUTONOMOUS HEATING SYSTEMS

S.A. Panfilov, panphilovsa@gmail.com

O.V. Kabanov, jhostmc@mail.ru

Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

This article deals with description of the developed energy-saving algorithm for autonomous heating systems installed in the heated space. The algorithm enables us to determine the optimal time of switching on to move to a desired nominal temperature after keeping the fixed minimum permissible temperature without using ambient temperature sensors and based on the results of studies on the active operation of heating systems, depending on the ambient temperature and heating time of the object from the minimum permissible temperature to nominal one.

Keywords: algorithm, energy-saving, heat supply, efficiency, autonomous heating system, automation, heating-up time.

References

1. Autonomous heating systems based on solid-phase heat accumulators using night electric energy or/and surplus energy from wind power stations and/or solid fuel. Available at: <https://www.enterprise-europe.co.uk/content/search/profile-detail/?Tech Ref=12%20RU%2086FG%203P3H>. (accessed: 16.12.2015)
2. Gerard O'Driscoll. [Manage Your Smart Home With An App!: Learn Step-by-Step How to Control Your Home Lighting, Thermostats, IP Cameras, Music, Alarm, Locks, Kitchen and Garden with an App!]. Create Space Independent Publishing Platform, 2014. 291 p.
3. Zie Bik Andrzej Hoinka Krzysztof. [Energy Systems of Complex Buildings (Green Energy and Technology)]. Springer, 2014. 346 p.
4. Martin Hollender. [Collaborative Process Automation Systems. International Society of Automation], 2012. 408 p.
5. Fine Homebuilding. [The Energy-Smart House]. Taunton Press, 2011. 192 p.
6. How to Reduce Your Home Energy Bills. Centaur Media, 2014. 163 p.
7. Yolande Strengers. [Smart Energy Technologies in Everyday Life: Smart Utopia]. Palgrave Macmillan, 2014. p. 224.
8. Turkin V.P. *Vodyanye sistemy otopleniya s avtomaticheskim upravleniem* [Water Heating Systems with the Automatic Control]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976. 268 p.
9. Skanavi A.N., Makhov L.M. *Otoplenie: uchebnik dlya vuzov* [Heating: College Textbook]. Moscow, Publishing House of Construction University Association, 2002. 575 p.
10. Bogoslovskiy V.N. Skavani A.N. *Otoplenie: uchebnik dlya vuzov* [Heating: College Textbook]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991. 735 p.

11. Ermolaev N.S. [Problems of Heat Supply and Heating of High-Rise Buildings]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1949. 250 p.
12. Chistovich S.A. *Avtomatičeskoe regulirovanie raskhoda tepla v sistemakh teplosnabzheniya i otopleniya* [Automatic Heat Flow Control in the Heat Supply and Heating Systems]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1975. 159 p.
13. Kalmakov A.A., Kuvshinov Yu.A., Romanova S.S., Shchelkunov S.A. *Avtomatika i avtomatizatsiya sistem teplosnabzheniya i ventilyatsii* [Automation and Automatization of Heating and Ventilation Systems]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 479 p.
14. Blagikh V.T. [Automatic Control of Heating and Ventilation]. Chelyabinsk, South-Ural Publishing House, 1964. 212 p.
15. Panfilov S.A., Kabanov O.V., Khremkin A.S. *Programma dlya sistemy avtomatizirovannogo opredeleniya teplofizicheskikh svoystv issleduemogo ob"ekta* [The Program for the System of Automated Determination of Thermal-Physical Properties of the Object Studied]. Certificate RF, no. 2016612034, 2016.
16. Panfilov S.A., Kabanov O.V., Khremkin A.S. *Perenosnaya avtomatizirovannaya ustanovka dlya opredeleniya TFS issleduemogo ob"ekta* [The Portable Automated Plant for Determining the TPP of the Object Studied]. The Utility Model Application, no. 2016109487, 2016.
17. Nagornaya A.N., Panferov V.I., Pashnina E.Yu. [Modeling and Control of the Building Heat Mode]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzheniya i ventilyatsii»* [Proceedings of the International Scientific and Technic Conference "Theoretical Foundations of Heat and Gas Supply and Ventilation"]. Moscow, MGSU Publ., 2005, pp. 94–98. (in Russ.).
18. Sokolov E.Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti: uchebnik dlya vuzov* [Central Heating and Heating Networks: College Textbook]. Moscow, 2001. 472 p.

Received 28 October 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Панфилов, С.А. Алгоритм энергосбережения для автономных систем теплоснабжения / С.А. Панфилов, О.В. Кабанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 1. – С. 67–74. DOI: 10.14529/build170109

FOR CITATION

Panfilov S.A., Kabanov O.V. The Energy-Saving Algorithm for Autonomous Heating Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 1, pp. 67–74. (in Russ.). DOI: 10.14529/build170109
