

Научная статья
УДК 697.31
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-3-37-45>
EDN KZKLRC

Энергоэффективное управление системой отопления для зданий с циклическим режимом работы

Елена Федоровна Райкова[✉], Олег Викторович Антонов, Иван Николаевич Помазунов

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, ref11@mail.ru[✉]*

Аннотация. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. На уровне объектов энергопотребления эта проблема может решаться путем разработки систем энергоэффективного управления потреблением энергетических ресурсов с учетом особенностей функционирования конкретных объектов. Рассматривается система отопления здания торгового центра (ТЦ) «ОСТРОВский» (г. Астрахань). Проведен анализ технических характеристик здания с точки зрения выполнения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности. Проведен анализ технических характеристик здания и системы отопления ТЦ как объекта управления, выделены основные регулируемые, регулирующие и возмущающие величины. Разработана функциональная модель ТЦ как теплового объекта. Для расчета температуры воздуха внутри здания построена тепловая модель объекта на основе теплотехнических характеристик ограждающих конструкций здания. Показано соответствие модели реальным тепловым характеристикам здания. Разработана система управления тепловым пунктом ТЦ с использованием программного обеспечения Totally Integrated Automation Portal. Разработан интерфейс системы контроля и управления тепловым пунктом ТЦ. Предложен алгоритм функционирования системы отопления в энергоэффективном режиме с учетом циклического режима работы ТЦ. Проведена сравнительная оценка эффективности предложенной системы управления тепловым пунктом в режимах постоянной производительности, переменной производительности с ручным управлением, переменной производительности с автоматическим энергоэффективным управлением. Показано, что использование предложенного способа энергоэффективного управления позволяет сократить потребление тепловой энергии на 21,7 % по сравнению с используемым вариантом постоянной производительности.

Ключевые слова: энергоэффективное управление, система отопления, тепловая энергия, тепловой пункт, циклический режим работы, алгоритм управления системой отопления, система управления тепловым пунктом

Для цитирования: Райкова Е. Ф., Антонов О. В., Помазунов И. Н. Энергоэффективное управление системой отопления для зданий с циклическим режимом работы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 3. С. 37–45. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-3-37-45>. EDN KZKLRC.

Original article

Energy efficient heating system control for buildings with cyclic operation

Elena F. Raykova[✉], Oleg V. Antonov, Ivan N. Pomazunov

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, ref11@mail.ru[✉]*

Abstract. Lack of energy can be a significant factor holding back the country's economic growth. At the level of objects of energy consumption, this problem can be solved by developing systems for energy efficient management of the consumption of energy resources, taking into account the peculiarities of the functioning of specific objects. There is considered a heating system of the building of the OSTROVskiy shopping center (SC) (Astrakhan). There has been made engineering evaluation analysis of energy saving and energy efficiency measures of the building. Engineering evaluation analysis of the building and the heating system of the SC as a control object was carried out, the main regulated, regulating and disturbing quantities were identified. A functional model of a SC as a thermal facility has been developed. To calculate the air temperature inside the building, a thermal model of the object was built based on the thermal characteristics of the building envelope. The correspondence of the model to the real thermal characteris-

tics of the building is shown. A control system for the heating point of SC was developed using the Totally Integrated Automation Portal software. The interface of the control and management system for the heating point of SC has been developed. An algorithm for the heating system functioning in an energy-efficient mode is proposed, taking into account the cyclical mode of operation of SC. A comparative evaluation of the effectiveness of the proposed control system for a thermal substation in the modes of constant performance, variable performance with manual control, variable performance with automatic energy-efficient control has been carried out. It is shown that the use of the proposed method of energy efficient control makes it possible to reduce the consumption of thermal energy by 21.7% compared to the constant performance option used.

Keywords: energy efficient control, heating system, thermal energy, heat point, cyclic operation, heating system control algorithm, heat point control system

For citation: Raykova E. F., Antonov O. V., Pomazunov I. N. Energy efficient heating system control for buildings with cyclic operation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2023;3:37-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-3-37-45>. EDN KZKLRС.

Введение

Сегодня энергетика является одной из основных отраслей народного хозяйства любого государства, уровень развития и потенциальные возможности которой определяют его экономическую мощь. Развитие мировой экономики связано с непрерывным ростом производства и потребления энергии за счет невозобновляемых энергоресурсов органического происхождения. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. Запасов нефти и газа в России достаточно, однако увеличение объемов добычи углеводородов и развитие транспортной инфраструктуры требуют значительных инвестиций [1, 2].

Существует два пути решения возникшей проблемы, различающихся по применяемым методам:

- крайне капиталоемкий путь наращивания добычи нефти и газа и строительства новых объектов электрической и тепловой генерации;
- существенно менее затратный, связанный с обеспечением экономического роста за счет энергоэффективного использования имеющихся топливно-энергетических ресурсов.

На практике в масштабах государства необходим симбиоз первого и второго вариантов с несомненным приоритетом энергоэффективности. При этом на уровне объектов энергопотребления эта задача может решаться путем разработки систем энергоэффективного управления потреблением энергетических ресурсов с учетом особенностей конкретных объектов [3].

Анализ объекта

В качестве объекта исследования рассматривается здание ТЦ «ОСТРОВский» (г. Астрахань). Здание построено в 2001 г. и представляет собой трехэтажное каркасное сооружение. Фундамент свайно-ростерковый, сборно-монолитный. Каркас стальной, сборно-сварной. Перекрытия первого и второго этажа железобетонные, монолитные. Перекрытие третьего этажа арочное по металлическому каркасу из сотового поликарбоната и вспененного полистирола. Ограждения стен выполнены из сэндвич-панелей промышленного производства с утеплителем из вспененного полистирола. Часть конструкции (боко-

вые стаканы здания) выполнена из керамзитобетонных блоков с отделкой системой вентилируемого фасада. Режим работы здания циклический, с 08:00 до 20:00 ежедневно. В промежуток времени с 20:00 до 08:00 в основном объеме здания люди отсутствуют.

В «Методических рекомендациях по разработке программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности организаций», разработанных в соответствии со статьей 25 Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [4], приведена дорожная карта программных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, с помощью которой можно оценить степень соответствия организации нормативным требованиям.

Анализ здания торгового центра (ТЦ) «ОСТРОВский» в части выполнения мероприятий по эффективному расходованию тепловой энергии показал, что:

- автоматизация системы теплоснабжения здания посредством установки индивидуального теплового пункта (экономия 20–30 % от потребления тепловой энергии) выполнена частично, тепловой пункт имеется, управление ручное;
- оснащение системы отопления тепловым счетчиком (экономия до 50 % от потребления тепловой энергии) выполнено, счетчик имеется;
- улучшение тепловой изоляции стен, полов и чердаков (экономия 15–25 % от потребления тепловой энергии) выполнено, тепловая изоляция соответствует проектной документации;
- снятие декоративных ограждений с радиаторов отопления и установка тепловых отражателей за радиаторами (экономия до 15 % от потребления тепловой энергии) выполнены частично, декоративные ограждения отсутствуют, тепловых отражателей нет;
- снижение потребления за счет оптимизации расходов и регулирования температуры (экономия 10–20 % от потребления тепловой энергии) – выполнено частично, система отопления работает в режиме постоянной производительности, регулирование проводится в ручном режиме при значи-

тельных отклонениях температуры воздуха внутри здания от требуемого значения.

В соответствии с дорожной картой для здания ТЦ в качестве мероприятия, дающего в текущих условиях максимальный экономический эффект, выбрано автоматическое энергоэффективное управление системой отопления для поддержания заданной температуры воздуха в здании с учетом изменения температуры окружающего воздуха.

Для построения тепловой модели объекта подходит метод непосредственного анализа функционирования с оценкой адекватности по ретроспективным данным потребления тепловой энергии. С точки зрения математического моделирования здание ТЦ можно рассматривать как стационарный объект управления с сосредоточенными параметрами.

Основной регулируемой величиной является температура воздуха внутри помещения $T_{вн}$. Другие параметры воздушной среды внутри помеще-

ния (влажность, скорость движения воздуха и т. п.) не регулируются и не контролируются.

Основной регулирующей величиной F является расход теплоносителя через радиаторы отопления, расположенные в помещениях ТЦ.

Основные возмущающие величины:

- температура окружающего воздуха $T_{окр}$ (влияние сильное, может контролироваться);
- температура теплоносителя в системе отопления $T_{тепл}$ (влияние сильное, может контролироваться);
- тепловыделение электрических обогревающих приборов $P_{эл}$ (влияние сильное, может контролироваться).

Формально модель ТЦ как теплового объекта может быть представлена в виде функционала:

$$\Phi(T_{вн}, F, T_{окр}, T_{тепл}, P_{эл}) = 0.$$

Графическая модель ТЦ как теплового объекта представлена на рис. 1.

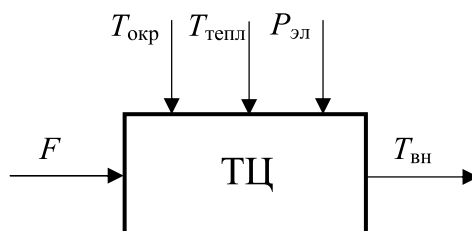


Рис. 1. Функциональная модель торгового центра как теплового объекта

Fig. 1. Functional model of a shopping center as a thermal facility

Тепловая модель объекта

В качестве исходных данных для расчета тепловых потерь здания ТЦ приняты следующие:

- здание рассматривается как полый однообъемный параллелепипед размерами $84 \times 24 \times 13$ м;
- стены выполнены из промышленных сэндвич-панелей (сталь толщиной 1 мм, листовой вспененный полистирол толщиной 150 мм), с облицовкой алюминиевыми плитами системы вентилируемого фасада;
- площадь остекления фасада 200 м^2 (стеклопакеты однокамерные);
- крыша здания трехслойная (сотовый поликарбонат толщиной 20 мм, листовой вспененный полистирол толщиной 50 мм, сотовый поликарбонат толщиной 20 мм);
- тепловые потери через мостики холода (несущий стальной каркас здания) составляют 50 %;
- тепловые потери на вентиляцию составляют 30 %;
- тепловые потери через дверные проемы и неплотности конструкции составляют 20 %.

Общая площадь остекления фасада S_1 составляет 200 м^2 . Общая площадь стеновых ограждающих конструкций составляет $S_2 = (84 + 84 + 24 + 24) \times 13 = 2\,808 \text{ м}^2$. Общая площадь крыши с учетом сложной коньковой конструкции составляет $S_3 = 2\,416 \text{ м}^2$.

При расчете теплового сопротивления ограждающих конструкций учитывается:

- для стен – тепловое сопротивление вспененного полистирола без учета стального листа, системы вентилируемого фасада и внутренней отделки;
- для остекления – тепловое сопротивление стеклопакетов без учета структурной арматуры;
- для крыши – тепловое сопротивление сотового поликарбоната и вспененного полистирола без учета структурной арматуры.

В качестве справочных данных используются коэффициент теплопроводности вспененного полистирола плотностью 50 кг/м^3 $k_1 = 0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, коэффициент теплопередачи сотового поликарбоната толщиной 20 мм $\lambda_1 = 2,61 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, стеклопакетов (стекло 4 мм, межстекольное расстояние 14 мм) – $\lambda_2 = 3,14 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Коэффициент теплопередачи вспененного полистирола в сэндвич-панелях рассчитывается по формуле

$$\lambda_3 = k_1 / \delta_1,$$

где δ_1 – толщина вспененного полистирола в сэндвич-панелях $150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м}$, таким образом, $\lambda_3, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, составляет

$$\lambda_3 = 0,05 / 0,15 = 0,33.$$

Коэффициент теплопередачи вспененного полистирола в ограждающей конструкции крыши рассчитывается по формуле

$$\lambda_4 = k_1 / \delta_2,$$

где δ_2 – толщина вспененного полистирола в ограждающей конструкции 50 мм = 0,05 м, таким образом, λ_4 , Вт/(м²·К), составляет

$$\lambda_4 = 0,05 / 0,05 = 1.$$

Общий коэффициент теплопередачи λ_5 ограждающей конструкции крыши с учетом двух слоев сотового поликарбоната толщиной 20 мм, между которыми расположен вспененный полистирол толщиной 50 мм, рассчитывается по формуле

$$1 / \lambda_5 = 1 / \lambda_1 + 1 / \lambda_4 + 1 / \lambda_1;$$

$$1 / \lambda_5 = 1 / 2,61 + 1 / 1 + 1 / 2,61 = 1,77 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт};$$

$$\lambda_5 = 1 / 1,77 = 0,57 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Общий тепловой поток через ограждающие стеновые конструкции W_1 , Вт/К, составляет

$$W_1 = \lambda_3 \cdot S_2 = 0,33 \cdot 2\,808 = 927.$$

Общий тепловой поток через фасадное остекление W_2 , Вт/К, составляет:

$$W_2 = \lambda_2 \cdot S_1 = 3,14 \cdot 200 = 628.$$

Общий тепловой поток через ограждающие конструкции крыши W_3 , Вт/К, составляет

$$W_3 = \lambda_5 \cdot S_3 = 0,57 \cdot 2\,416 = 1\,377.$$

Общий тепловой поток утечек (тепловые потери через мостики холода, тепловые потери на вентиляцию, тепловые потери через дверные проемы и неплотности) W_4 , Вт/К, составляет:

$$W_4 = (0,5 + 0,3 + 0,2) (W_1 + W_2 + W_3) = 1 \cdot (927 + 628 + 1\,377) = 2\,932.$$

Общий тепловой поток W_5 , Вт/К, составляет:

$$W_5 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 5\,864.$$

Температура воздуха внутри помещения $T_{вн}$ с учетом мощности системы отопления P и температуры окружающего воздуха $T_{окр}$ рассчитывается как

$$T_{вн} = P / W_5 + T_{окр}.$$

С учетом технических характеристик теплового пункта [5] и системы отопления ТЦ «ОСТРОВСКИЙ» мгновенная действующая мощность отопительных приборов рассчитывается как

$$P = 1,7592 \cdot 10^6 \cdot F.$$

Тогда при условно неизменной температуре теплоносителя в системе отопления $T_{тепл}$ и тепловыделении электрических обогревающих приборов $P_{эл}$ температура воздуха внутри помещения $T_{вн}$ в зависимости от расхода теплоносителя F рассчитывается как

$$T_{вн} = 1,7592 \cdot 10^6 \cdot F / W_5 + T_{окр}.$$

При температуре окружающего воздуха -10 °С для поддержания температуры внутри помещения $+20$ °С потребуются суммарные затраты тепловой энергии, Гкал:

$$Q = 0,239 \cdot 5\,864 \cdot 3\,600 \cdot 24 \cdot 30,6 / 10^9 = 111,16,$$

что близко к реальным среднемесячным данным в зимний период (106,391 Гкал, по данным отопительного сезона 2021/2022 гг.). Тепловая модель отражает поведение объекта с достаточной точностью.

Система управления тепловым пунктом

Для разработки программы автоматического управления тепловым пунктом было использовано программное обеспечение Totally Integrated Automation Portal, которое представляет собой единую программную платформу для разработки проектов PLC и HMI в составе SIMATIC STEP 7 V11 и SIMATIC WinCC V11. Графический интерфейс диспетчерского контроля и управления тепловым пунктом ТЦ показан на рис. 2.

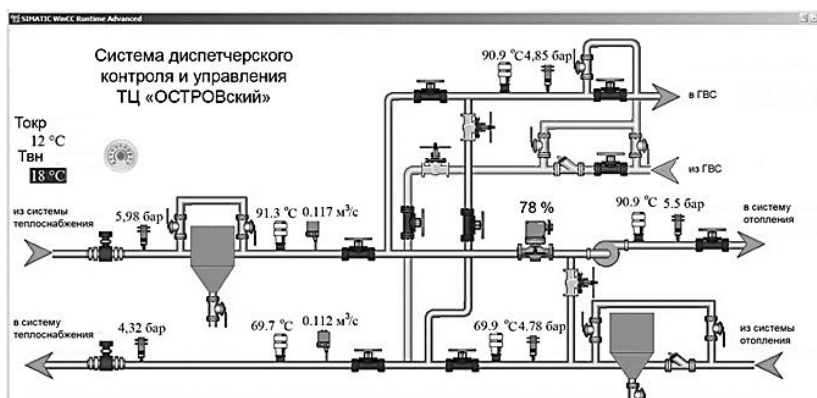


Рис. 2. Интерфейс системы контроля и управления тепловым пунктом торгового центра

Fig. 2. Interface of the control and management system of the heating point of the shopping center

Система управления тепловым пунктом позволяет выполнять следующие задачи:

- оперативное получение информации о состоянии теплового пункта в режиме реального времени;
- автоматическое управление клапаном теплоносителя в соответствии с заданным алгоритмом;
- расчет теплотехнических параметров системы отопления;
- контроль состояния технологического оборудования;
- оперативное выявление аварийных ситуаций;
- удаленная диспетчеризация (SMS-оповещение).

Оценка эффективности системы

Для расчета эффективности применения системы оптимизации энергопотребления для ТЦ проведен сравнительный анализ в следующих режимах функционирования системы отопления [5, 6]:

- постоянная производительность без учета суточного изменения температуры;

- постоянная производительность с учетом суточного изменения температуры;

- переменная производительность с учетом суточного изменения температуры в режиме ручного управления;

- переменная производительность с учетом суточного изменения температуры в режиме энергоэффективного управления.

При работе системы отопления с постоянной производительностью *без учета суточного изменения температуры* изменение температуры внутри помещения отсутствует, поддерживается оптимальная температура +21 °С. При этом затраты тепловой энергии составляют 0,143 Гкал/ч, или 3,432 Гкал в сутки.

При работе системы отопления с постоянной производительностью *с учетом суточного изменения температуры* окружающего воздуха температура внутри помещения не остается постоянной. Пример изменения температуры окружающего воздуха в течение суток приведен в таблице.

Изменение температуры окружающего воздуха в течение суток

Change in ambient temperature during the day

Время, ч	00:00	02:00	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
$T, ^\circ\text{C}$	-10,8	-13,1	-15,8	-16,7	-15,1	-9,3	-6,5	-6,4	-7,3	-8,6	-9,2	-10,1

График изменения температуры внутри помещения и график изменения температуры окружающего воздуха в режиме постоянной производи-

тельности системы отопления с учетом суточного изменения температуры окружающего воздуха приведен на рис. 3.

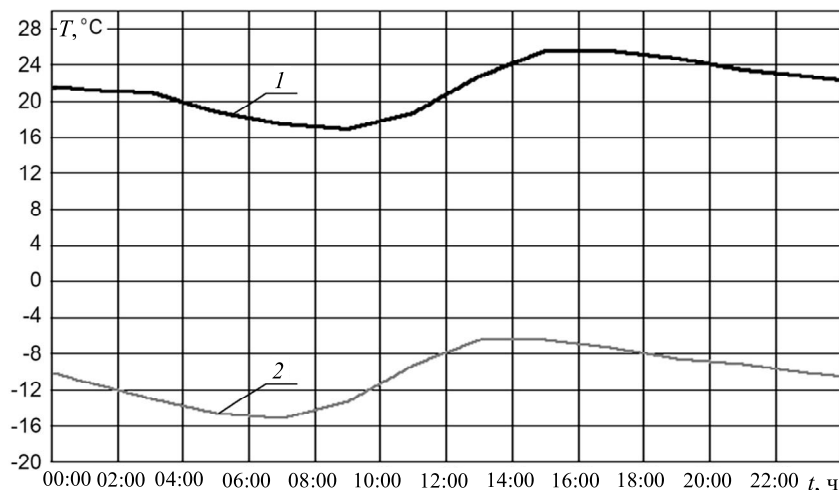


Рис. 3. Графики изменения температуры внутри помещения (1) и температуры окружающего воздуха (2) в режиме постоянной производительности системы отопления с учетом суточного изменения температуры окружающего воздуха

Fig. 3. Graphs of changing the indoor temperature (1) and ambient temperature (2) in the mode of constant performance of the heating system, taking into account the daily change in ambient temperature

Изменение температуры внутри помещения повторяет изменение температуры окружающего воздуха со сдвигом около 1,5 ч, обусловленным постоянной времени объекта. Затраты тепла не изменились и составляют 0,143 Гкал/ч, или 3,432 Гкал в сутки при явно определяемых недотопах в утренние и перетопах в дневные и вечерние часы.

Экономически целесообразным для здания ТЦ с циклическим режимом работы является уменьше-

ние производительности системы отопления в ночные часы и увеличение в дневные. Управление в ручном режиме может происходить в моменты прихода технического персонала ТЦ на работу (08:00) и ухода домой (20:00). График изменения производительности системы отопления приведен на рис. 4, график изменения температуры внутри помещения и график изменения температуры окружающего воздуха – на рис. 5.

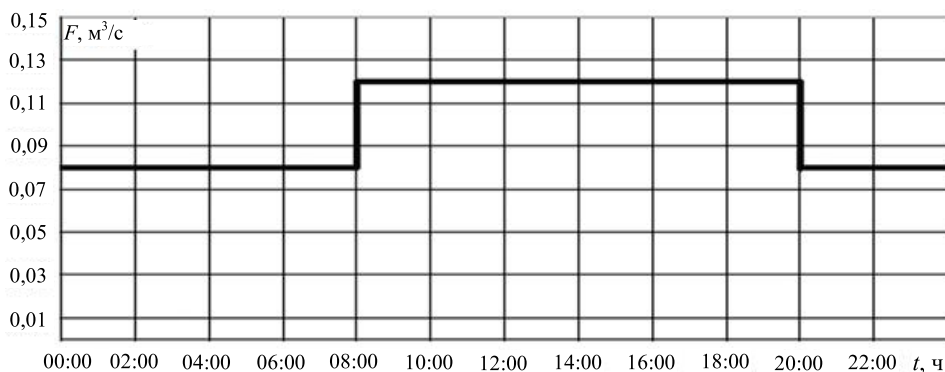


Рис. 4. График изменения производительности системы отопления в режиме ручного управления производительностью системы отопления

Fig. 4. Graph of changing the performance of the heating system in manual mode of heating system performance

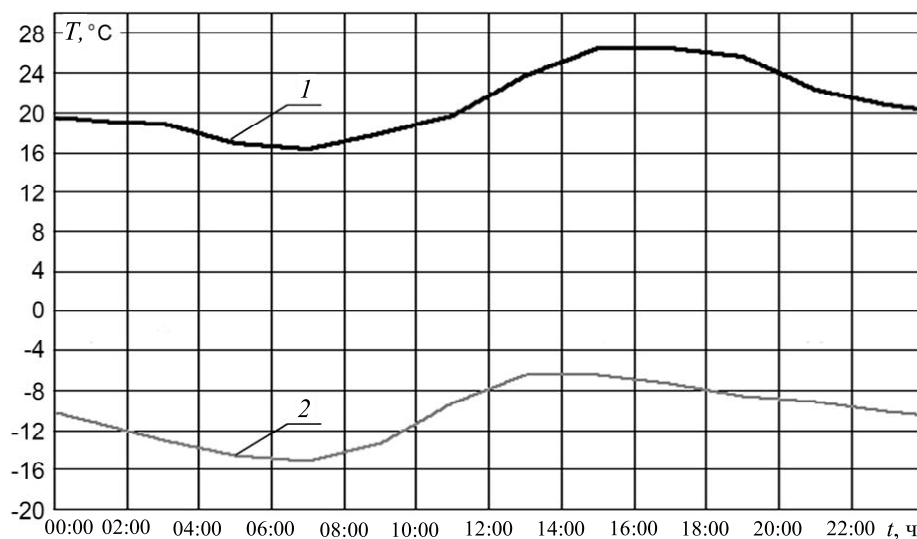


Рис. 5. Графики изменения температуры внутри помещения (1) и температуры окружающего воздуха (2) в режиме ручного управления производительностью системы отопления

Fig. 5. Graphs of changing indoor temperature (1) and outdoor temperature (2) in manual mode of the heating system performance

Видно, что график изменения температуры воздуха в помещении повторяет график изменения температуры окружающего воздуха с большей амплитудой по сравнению с функционированием системы отопления с постоянной мощностью. Среднечасовой расход энергии на отопление составляет 0,13 Гкал/ч, или 3,120 Гкал в сутки. Экономия энергии, по сравнению с исходным вариантом, составляет 9,1 %.

Более выгодным является функционирование системы отопления в энергоэффективном режиме, задаваемом системой контроля и управления тепловым пунктом ТЦ. В ходе экспериментов определен следующий алгоритм работы системы отопления:

– в нерабочие часы температура в помещении поддерживается на уровне +15 °С;

- за 90 мин до начала рабочего дня мощность системы увеличивается на 50 %;
- через 35 мин система переходит в режим поддержания температуры на уровне +21 °С;
- за 30 мин до конца рабочего дня мощность системы уменьшается на 80 %;
- через 35 мин система переходит в режим поддержания температуры на уровне +15 °С.

График изменения производительности системы отопления приведен на рис. 6, график изменения температуры воздуха внутри помещения и график изменения температуры окружающего воздуха – на рис. 7.

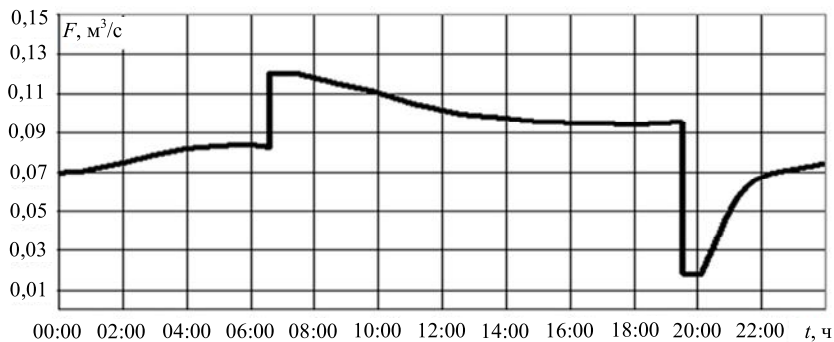


Рис. 6. График изменения производительности системы отопления в режиме энергоэффективного управления производительностью системы отопления

Fig. 6. Graph of changing the performance of the heating system in the mode of energy-efficient control of the performance of the heating system

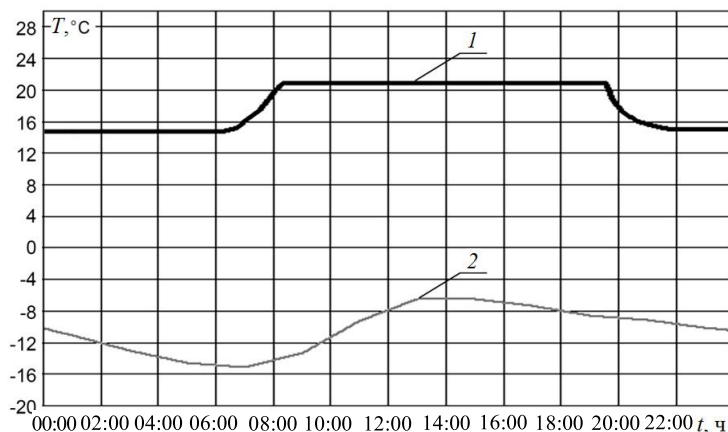


Рис. 7. Графики изменения температуры внутри помещения (1) и температуры окружающего воздуха (2) в режиме энергоэффективного управления производительностью системы отопления

Fig. 7. Graphs of changing indoor temperature (1) and outdoor temperature (2) in the mode of energy efficient control of the heating system performance

В нерабочие часы температура воздуха внутри помещения поддерживается на уровне +15 °С с по-

следующим быстрым переходом к комфортной температуре +21 °С. Среднечасовой расход энергии на

отопление составляет 0,112 Гкал/ч, или 2,688 Гкал в сутки. Экономия энергии, по сравнению с исходным вариантом, составляет 21,7 %.

Заключение

В результате проведенных исследований предложен способ энергоэффективного управления системой отопления для зданий с циклическим режимом работы на примере торгового центра

«ОСТРОВСКИЙ». При этом обеспечивается минимизация расходов на отопление и максимальный комфорт для людей, находящихся в помещениях торгового центра в рабочие часы. При среднемесячных расходах в зимний период на тепловую энергию около 120 тыс. руб. экономия от внедрения предложенной системы управления может составить более 26 тыс. руб. в месяц.

Список источников

1. Сергеев Н. Н. Формирование системы энергетической безопасности Российской Федерации // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Экономика. 2016. № 1. С. 14–20.
2. Андрижиевский А. А., Володин В. И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. Минск: Вышэйш. шк., 2005. 294 с.
3. Аббасипаям С., Мокрова Н. В. Нечеткая логика и интеллектуальное управление инженерными системами зданий // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 1. С. 22–32.
4. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные

- ные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. // Консультант Плюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978 (дата обращения: 20.03.2023).
5. Алгоритм управления ИТП. URL: https://ezhkov.pro/wp-content/uploads/2018/06/Описание_алгоритма_Южин.pdf (дата обращения: 20.03.2023).
6. Сабенов К. О., Байтасов Т. М. Оптимальное (энергоэффективное) теплоснабжение здания в системе центрального отопления // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2015. № 8 (326). С. 53–60.

References

1. Sergeev N. N. Formirovanie sistemy energeticheskoi bezopasnosti Rossiiskoi Federatsii [Developing energy security system of the Russian Federation]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomika*, 2016, no. 1, pp. 14-20.
2. Andrizhievskii A. A., Volodin V. I. *Energoberezhenie i energeticheskii menedzhment* [Energy saving and energy management]. Minsk, Vysheishaia shkola Publ., 2005. 294 p.
3. Abbasipaiam S., Mokrova N. V. Nechetkaia logika i intellektual'noe upravlenie inzhenernymi sistemami zdaniia [Fuzzy logic and intelligent control of building engineering systems]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naiia tekhnika i informatika*, 2022, no. 1, pp. 22-32.
4. *Ob energoberezhenii i o povyshenii energeticheskoi effektivnosti i o vnesenii izmenenii v ot del'nye za-*

- konodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii: Federal'nyi zakon № 261-FZ ot 23 noiabria 2009 g.* [On energy saving and improving energy efficiency and on amending certain legislative acts of the Russian Federation: Federal Law No. 261-FZ of November 23, 2009]. Konsultant Plus. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978 (accessed: 20.03.2023).
5. *Algoritm upravleniia ITP* [ITP control algorithm]. Available at: https://ezhkov.pro/wp-content/uploads/2018/06/Opisanie_algoritma_Iuzhin.pdf (accessed: 20.03.2023).
6. Sabenov K. O., Baitasov T. M. Optimal'noe (energoeffektivnoe) teplosnabzhenie zdaniia v sisteme tsentral'nogo otopleniia [Optimal (energy efficient) heat supply of building in central heating system]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2015, no. 8 (326), pp. 53-60.

Статья поступила в редакцию 22.03.2023; одобрена после рецензирования 15.05.2023; принята к публикации 17.07.2023
The article is submitted 22.03.2023; approved after reviewing 15.05.2023; accepted for publication 17.07.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Федоровна Райкова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; refl1@mail.ru

Elena F. Raykova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automation and Management; Astrakhan State Technical University; refl1@mail.ru

Олег Викторович Антонов – кандидат технических наук; доцент кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; o_antonov@mail.ru

Иван Николаевич Помазунов – магистрант кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; van4es10.0555@mail.ru

Oleg V. Antonov – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Automation and Management; Astrakhan State Technical University; o_antonov@mail.ru

Ivan N. Pomazunov – Master's Course Student of the Department of Automation and Management; Astrakhan State Technical University; van4es10.0555@mail.ru

