

УДК 699.86; 681.5

Двойной энергетический эффект в системах теплоснабжения зданий от использования автоматизированных энергосберегающих окон для различных регионов России

В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, А.А. Яблоков, Ю.С. Колосова, Д.А. Лапатеев
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: nsmirnov@bk.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Известны новые энергосберегающие конструкции окон с теплоотражающими экранами, однако для их практического использования необходима их интеграция в системы автоматического управления теплоснабжением зданий и определение эффективности их использования с учетом существующих энергосберегающих мероприятий для различных регионов России.

Материалы и методы: Используются результаты натурных испытаний окон с теплоотражающими экранами в сертифицированной климатической камере, а также статистические климатические данные по регионам России, предоставленные Росгидрометом. Результаты обработаны методами математической статистики. Многовариантные расчеты показателей использования энергосберегающих окон в системах теплоснабжения зданий осуществлены с использованием программного комплекса Mathcad.

Результаты: Разработана методика определения эффективности использования теплоотражающих экранов в окнах, а также методика определения минимальной температуры воздуха внутри помещения при дежурном режиме отопления в случае их использования. Рассчитана годовая экономия ТЭР при применении теплоотражающих экранов для различных регионов России. Разработана автоматизированная система регулирования теплоснабжения зданий с применением теплоотражающих экранов.

Выводы: Использование разработанных конструкций окон и схем автоматизации работы систем теплоснабжения поможет значительно снизить потребление ТЭР как в ЖКХ, так и в промышленном секторе.

Ключевые слова: окна с теплоотражающими экранами, дежурный режим отопления, образование конденсата на окнах, температура точки росы, относительная влажность воздуха, среднее за отопительный период приведенное сопротивление теплопередаче окна, экономия энергоресурсов, регионы России, система регулирования теплоснабжения.

Double power effect in heating systems of buildings with automated energy efficient windows in different regions of Russia

V.M. Zakharov, N.N. Smirnov, A.A. Yablokov, Yu.S. Kolosova, D.A. Lapateev
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: nsmirnov@bk.ru

Abstract

Background: The new energy saving windows with heat-reflecting shields are well known, but for their practical use they need to be integrated into the automatic control systems of heat supply of buildings and the efficiency of their use together with the existing energy-saving measures must be determined for different regions of Russia.

Materials and methods: The study was based on the results of field tests of windows with heat-reflective shields in a certified climate chamber as well as the statistical climatic data about the Russian regions provided by the Russian Hydrometeorology and Environmental Monitoring Service. The results were processed by the methods of mathematical statistics. Multivariant performance calculations of energy efficient windows in heating systems of buildings were made in the Mathcad software.

Results: A method of determining the efficiency of using heat-reflective shields in windows and the required minimum indoor air temperature in the standby mode has been developed. We have calculated the annual savings of energy resources for buildings with heat-reflective shields in the windows for different regions of Russia. We have also developed an automated control system for such buildings.

Conclusions: The use of the designed windows with heat-reflective shields and the system of automated control can significantly reduce the consumption of fuel and energy resources in the utility branch as well as in the industrial sector.

Keywords: windows with heat-reflective shields, standby heating mode, condensation on windows, dew point temperature, relative humidity, average thermal resistance of windows during the heating period, energy saving, Russian regions, heating control system.

В сертифицированной климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» были проведены исследования [1, 2] по изучению влияния

теплоотражающих экранов в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижение тепловых потерь.

Таблица 1. Данные испытания теплоотражающих экранов в окнах с низкоэмиссионным покрытием

Вариант	Тепловой поток q , Вт/м ²	Температура на внутреннем стекле t_w , °C	Приведенное сопротивление теплопередаче R , м ² ·°C/Вт	$R/R_{\text{контроль1}}$	$R/R_{\text{контроль2}}$
Контроль 1 4М1х10х4М1х10х4М1	76,1	12,5	0,47	-	-
Контроль 2 4М1х10х4М1х10х4И (с покрытием)	58,9	14,15	0,61	1,29	-
2 экрана с холодной стороны	20,77	18,65	1,757	3,74	2,89

Исходя из полученных данных (табл. 1), применение И-стекла дало увеличение сопротивления теплопередаче с 0,47 до 0,61 м²·°C/Вт (на 29 %), а применение со стороны холодного отделения камеры дополнительно панели из двух металлических экранов, размещенных на расстоянии 10 мм друг от друга, повысило сопротивление до 1,76 м²·°C/Вт (на 274 % к контролю 1 или на 189 % к контролю 2).

Действующие нормы СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»¹ в холодный период года в помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются и в нерабочее время, позволяют снижать температуру внутреннего воздуха ниже нормируемой, но не ниже 15 °C – в жилых помещениях; 12 °C – в помещениях общественных и административно-бытовых зданий; 5 °C – в «сухих» производственных помещениях. В понижении температуры воздуха во время дежурного режима отопления заложен большой энергосберегающий потенциал [3, 4]. В большой степени минимальная температура воздуха при применении дежурного режима отопления определяется исходя из условий недопущения образования конденсата на ограждающих поверхностях. Мы говорим о большой вероятности выпадения конденсата на окнах, так как именно светопрозрачные конструкции являются «слабым местом» в теплозащите зданий.

Стоит отметить, что появление влаги на стеклах является не только эстетическим дефектом, но в дальнейшем постоянное выпадение конденсата может привести к увлажнению конструкций, которое способно стать причиной образования грибка и плесени на подоконниках. Особое внимание следует уделить окнам с горизонтальным и наклонным расположением, а также зенитным фонарям, так как, согласно Своду правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», температура на внутренней поверхности должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года.

Относительная влажность воздуха в помещении является нормируемой величиной (для

общественно-административных и жилых – от 30 до 65 %), и именно от влажности воздуха, сопротивления теплопередаче окна, температуры наружного воздуха и зависит температура точки росы на внутреннем остеклении, а значит, и минимальная температура воздуха при дежурном режиме отопления (при известном коэффициенте теплоотдачи на внутренней поверхности окна).

Как показали расчеты и опытные данные (табл. 1) при применении в окнах теплоотражающих экранов, установленных снаружи, увеличивается сопротивление теплопередаче до 1,76 м²·°C/Вт и значительно повышается температура на внутреннем стекле, следовательно, мы можем дополнительно понизить температуру воздуха внутри помещения (в зависимости от влажности внутри помещения) во время отсутствия людей.

Нам было интересно выяснить, каким образом можно определить значение температуры (рис. 1), до которой система автоматизации сможет понизить температуру воздуха при дежурном режиме отопления при условии недопущения выпадения конденсата на внутренней поверхности стекла окна с повышенными теплозащитными свойствами (с применением теплоотражающих экранов).

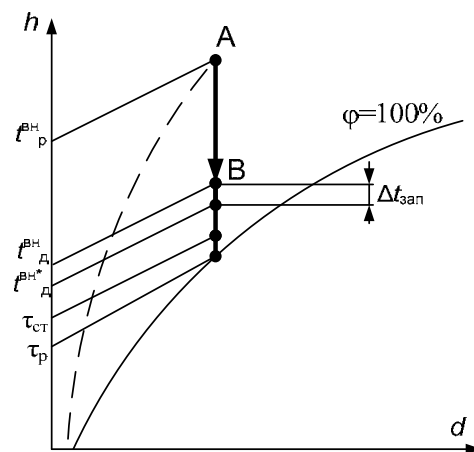


Рис. 1. К определению температуры воздуха при дежурном режиме отопления

Минимальную температуру внутреннего воздуха при дежурном режиме отопления можно определить как

$$t_d^{BH} = t_d^{BH*} + \Delta t_{\text{зап}}, \quad (1)$$

¹ Свод правил СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2012.

где $t_{д}^{вн*}$ – температура внутреннего воздуха, при которой на стекле начинает образовываться конденсат, т.е. когда $\tau_{см}^* = \tau_p$, $^{\circ}\text{C}$:

$$t_{д}^{вн*} = \tau_{ст}^* + \frac{q}{\alpha_{вн}} = \tau_p + \frac{(t_{д}^{вн*} - t_n)}{\alpha_{вн} R_{окна}}; \quad (2)$$

τ_p – температура точки росы при параметрах воздуха в рабочее время, $^{\circ}\text{C}$; $\tau_{ст}^*$ – температура на внутренней поверхности остекления, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{зап}$ – температурный запас по недопущению конденсации (принимается в 1°C); t_n – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; q – удельный тепловой поток, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $R_{окна}$ – приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной зоны окна, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стеклу (принимается $8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).

Следовательно,

$$t_{д}^{вн*} \alpha_{вн} R_{окна} = \tau_p \alpha_{вн} R_{окна} + t_{д}^{вн*} - t_n \Rightarrow t_{д}^{вн*} = \frac{\tau_p \alpha_{вн} R_{окна} - t_n}{\alpha_{вн} R_{окна} - 1}. \quad (3)$$

Температуру точки росы воздуха, находящегося в помещении в рабочее время, можно определить по формуле Магнуса-Тетенса [5] с погрешностью $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (в диапазоне температур от 5 до 25°C и в диапазоне относительных влажностей от 10 до 70%):

$$\tau_p = \frac{b \cdot \gamma(t_p^{вн}, \varphi_p^{вн})}{a - \gamma(t_p^{вн}, \varphi_p^{вн})}, \quad (4)$$

где $a = 17,27$; $b = 237,7$;

$$\gamma(t_p^{вн}, \varphi_p^{вн}) = \frac{a t_p^{вн}}{b + t_p^{вн}} + \ln\left(\frac{\varphi_p^{вн}}{100}\right). \quad (5)$$

Получаем

$$t_{д}^{вн} = \frac{\tau_p \alpha_{вн} R_{окна} - t_n}{\alpha_{вн} R_{окна} - 1} + \Delta t_{зап}. \quad (6)$$

Таким образом, зная приведенное сопротивление окна $R_{окна}$ в нерабочее время суток, температуру наружного воздуха, температуру и относительную влажность воздуха в рабочее время, можно определить минимальное значение температуры воздуха при дежурном режиме отопления.

Согласно полученным формулам, в вычислительных средах Mathcad и Excel была составлена программа по вычислению минимальной температуры воздуха при дежурном режиме отопления и использовании окон с теплоотражающими экранами.

Моделировалось изменение приведенного сопротивления светопрозрачной части окна R от $0,5$ до полученных в результате эксперимента $1,757 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, температура наружного воздуха t_n задавалась от -10 до -30°C , температура воздуха в рабочее время фиксировалась на уровне 20°C . Расчет был произведен для относительной влажности φ , равной 35 и 50% (рис. 2).

Как и следовало ожидать, $t_{д}^{вн}$ будет значительно выше при более высокой влажности внутри помещения. Применение экранов также дает значительный эффект. Так, из расчетов следует, что при относительной влажности 35% , наружной температуре в -30°C и использовании окон с И-стеклом и двумя теплоотражающими экранами минимально-допустимая температура воздуха при дежурном отоплении уменьшится с $16,4$ до $7,8^{\circ}\text{C}$ относительно контроля 1 , т. е. более чем на 8°C , а при относительной влажности 50% разница в температурах составит более 10°C .

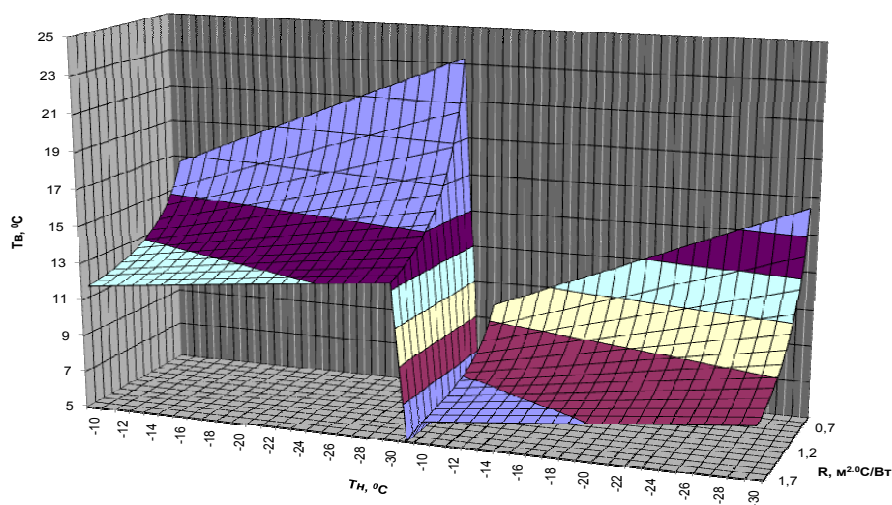


Рис. 2. Зависимость изменения минимально-допустимой температуры воздуха $T_{в}$ при дежурном режиме отопления от R и t_n : левая половина графика – при $\varphi = 50\%$; правая – при $\varphi = 35\%$

Получаем, что при применении окон с теплоотражающими экранами наблюдается двойной энергетический эффект: 1) в отопительный период уменьшаются теплопотери за счет увеличения сопротивления окна; 2) снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счет понижения температуры воздуха внутри помещения.

Для определения экономии тепловой энергии за счет применения теплоотражающих экранов была введена новая величина, а именно «среднее за отопительный период приведенное сопротивление теплопередаче окна» $\bar{R}_0^{\text{пр.от.пер.}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$:

$$\bar{R}_0^{\text{пр.от.пер.}} = \frac{n_{\text{от.пер.}} R_1 R_2}{n_1 R_2 + n_2 R_1}, \quad (7)$$

где R_1 – приведенное сопротивление теплопередаче окна без экранов (базовый вариант), $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; n_1 – время за отопительный период без использования экранов, ч; R_2 , n_2 – соответственно, приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{В}$, и время использования в отопительный период окон с теплоотражающими экранами, ч; $n_{\text{от.пер.}}$ – продолжительность отопительного периода, ч.

Значения n_i зависят от географической широты расположения здания, графика работы организации, количества рабочих дней в кален-

дарном месяце, продолжительности отопительного периода и т.д.

После обработки статистических данных, полученных с Росгидромета, были определены продолжительности светового дня по месяцам для различных городов РФ. Как известно, экраны целесообразно использовать в темное время суток и во время отсутствия людей. Графически данное время в течение суток (24 часа) для г. Норильска за календарный год представлено на рис. 3. График работы персонала принят с 8 до 17 ч. Что интересно, в декабре месяце в г. Норильске наступает полярная ночь, солнце не поднимается над горизонтом, поэтому экраны используются круглосуточно.

Был проведен анализ использования экранов для городов РФ, представляющих различные климатические зоны (табл. 2).

Для определения экономии тепловой энергии потребовались дополнительные характеристики по городам, в том числе географическая широта S , количество дней отопительного периода $n_{\text{от.пер.}}$, число часов неиспользования n_1 и использования n_2 экранов в течение отопительного периода, расчетная температура наружного воздуха $t_{\text{расч}}$ и средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{ср.от.}}$. Данные для рассматриваемых городов приведены в табл. 3.

Продолжительность светового дня по месяцам в г. Норильске

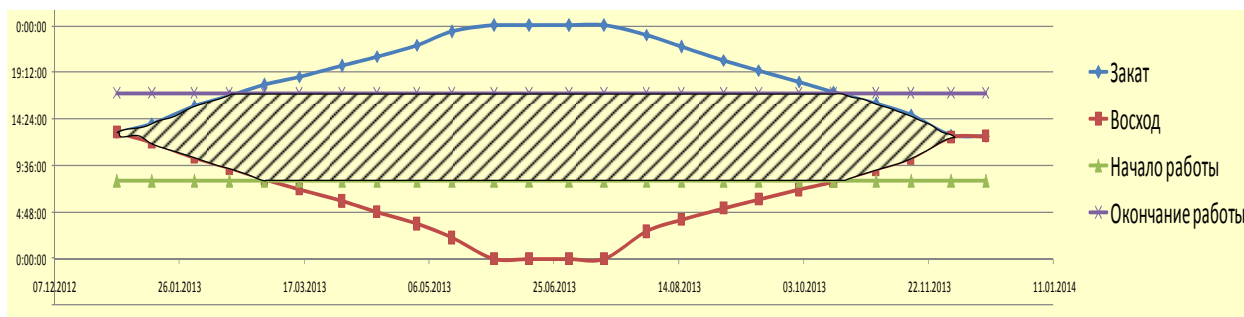


Рис. 3. Время использования теплоотражающих экранов в окнах (незаштрихованная область) в течение суток для условий г. Норильска

Таблица 2. Число рабочих дней и продолжительность времени неиспользования теплоотражающих экранов в течение суток (среднее по месяцам) в окнах для различных городов РФ

Город	Число часов неиспользования экранов в течение суток (среднее по месяцам)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мурманск	2	7,50	9	9	9	9	9	9	9	9	4,5	0
Норильск	2	7,50	9	9	9	9	9	9	9	9	4,5	0
Москва	7,50	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8,5	7
Сочи	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Рабочих дней	17	20	20	22	19	19	23	21	22	23	18	23

Таблица 3. Климатические характеристики городов

Город	S, град. шв. широты	$n_{от.пер}$, дней	$t_{ср. от.}$, °C	$t_{расч}$, °C	n_1 , ч	n_2 , ч
Мурманск	68	275	-3,4	-30	1237	5363
Норильск	69	365	-11,5	-40	1786	6974
Москва	55	205	-2,2	-25	1162	3758
Сочи	43	94	6,6	-2	549	1707

Интересно отметить, что для городов, находящихся практически на одной широте (68–69° сев. широты), климатические данные значительно отличаются: в Мурманске отопительный период длится 275 дней, в Норильске – круглый год, расчетная температура наружного воздуха для Мурманска составляет –30 °C, а для Норильска –40 °C.

Расчет производили для окна со стеклопакетом 4М1х10х4М1х10х4И (с теплоотражающим «И» покрытием) с использованием панельного экрана, состоящего из двух металлических листов, разделенных малотеплопроводной рамкой (табл. 1)

Внутри помещения в рабочее время суток принималась расчетная температура 20 °C и относительная влажность 40 %. В нерабочее время (и темное время) суток предусматривалось: применение экранов; снижение температуры воздуха при дежурном отоплении в двух вариантах – до нормируемых 12 °C и до минимально-допустимой температуры воздуха, при выполнении условия недопущения образования конденсата на светопрозрачных конструкциях. Определялись потери теплоты за отопительный период с 1 м² окна. Данные расчетов представлены в табл. 4 и 5.

Таким образом, максимальная экономия тепловой энергии получается во всех городах в случае использования панельного теплоотражающего экрана и системы автоматизации, рассчитанной на поддержание в нерабочее время дежурного режима отопления с минимально-допустимой температурой воздуха, исходя из условия недопущения конденсации,

причем максимальная экономия (0,235 Гкал) получилась для условий г. Норильска.

Принимая во внимание последние инновации в области регулирования теплового режима здания с учетом быстрых и медленных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции [4, 6], нами была разработана и запатентована автоматизированная система регулирования теплоснабжения зданий с применением теплоотражающих экранов (рис. 4), которая поддерживает оптимальную (заданную или рассчитываемую) температуру в жилых или производственных помещениях. Теплоотражающие экраны оконных блоков опускаются в темное время суток и во время отсутствия людей в помещениях по заданному графику или сигналу от датчиков наружной освещенности в зависимости от выбранного алгоритма управления. Сигнал по уровню освещенности снаружи здания поступает от датчиков наружной освещенности, расположенных по фасаду. При опускании теплоотражающих экранов уменьшаются тепловые потери через оконные проемы, увеличивается температура внутри помещения, что позволяет уменьшить расход топлива на отопление.

Разработанная система позволяет поддерживать различную температуру воздуха во всех помещениях здания за счет регулирования расхода теплоносителя в отопительный прибор. Изменение же расхода топлива в котел влияет на изменение температуры воздуха во всех помещениях. Расход топлива соответствует максимально заданной температуре воздуха в здании.

Таблица 4. Потери теплоты за отопительный период с 1 м² светопрозрачных конструкций, Гкал

Город	Контроль, Q_k	С применением дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$), $Q_{деж(12)}$	С применением экрана, $Q_э$	С применением экрана и дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$), $Q_{деж(12)+э}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой, $Q_{деж(min)+э}$
Норильск	0,389	0,315	0,237	0,168	0,154
Мурманск	0,217	0,162	0,124	0,098	0,084
Москва	0,154	0,112	0,096	0,075	0,062
Сочи	0,043	0,023	0,027	0,017	0,011

Таблица 5. Экономия теплоты за отопительный период с 1 м² светопрозрачных конструкций, Гкал / %

Город	Контроль, Q_k	С применением дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$), $Q_{деж(12)}$	С применением экрана, $Q_э$	С применением экрана и дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$), $Q_{деж(12)+э}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой, $Q_{деж(min)+э}$
Норильск	-	0,074 / 19	0,152 / 39	0,221 / 57	0,235 / 61
Мурманск	-	0,055 / 25,4	0,093 / 43	0,119 / 55	0,133 / 62
Москва	-	0,042 / 27	0,058 / 38	0,079 / 51,4	0,092 / 60
Сочи	-	0,02 / 45	0,016 / 37,2	0,026 / 60	0,032 / 74

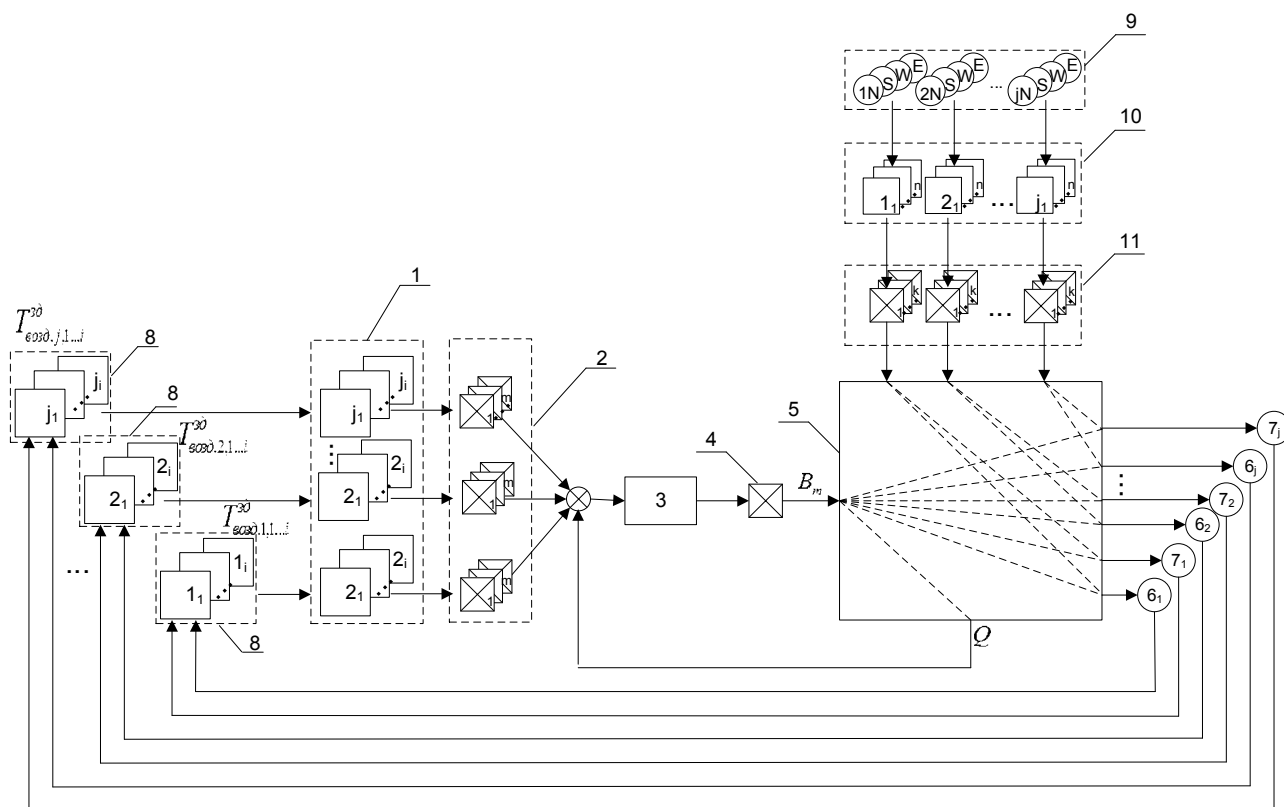


Рис. 4. Автоматизированная система регулирования теплоснабжением зданий с применением теплоотражающих экранов: 1 – регуляторы температуры воздуха в помещениях; 2 – регулирующие клапаны отопительных приборов; 3 – регулятор расхода топлива на котел; 4 – регулирующий орган подачи топлива на котел; 5 – объект управления; 6 – датчики температуры воздуха в помещениях; 7 – датчики влажности в помещениях; 8 – блоки расчета температуры воздуха дежурного отопления или блоки задатчиков; 9 – датчики наружной освещенности, расположенные пофасадно; 10 – регуляторы положения теплоотражающих экранов; 11 – электроприводы теплоотражающих экранов; $1...i$ – номер помещения/комнаты; $1...j$ – номер здания; $1...n$ – номер регулятора положения теплоотражающих экранов; $1...k$ – номер электропривода теплоотражающих экранов; $1...m$ – номер регулирующего клапана отопительного прибора; N, S, W, E – северный, южный, западный и восточный фасады здания соответственно

Система регулирования для промышленных зданий дополнительно реализует дежурный режим отопления, при котором задаваемая температура воздуха внутри помещения рассчитывается по формуле (6).

Система может быть реализована на основе оборудования домашней автоматизации, работающего по открытому протоколу KNX (например, Siemens Synco Living), или на промышленных контроллерах.

Список литературы

1. **Разработка** и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих российским и европейским требованиям в области энергосбережения / С. Бомон, Э. Хольтсвейлер, В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, А.А. Яблоков, Д.А. Лапатеи // Вестник ИГЭУ. – 2013. – Вып. 5. – С. 13–24.
2. **Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Лапатеи Д.А.** Снижение энергозатрат путем применения теплоотражающих экранов в окнах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – Вып. 1 (166). – С. 54–60.
3. **Табунщиков Ю.А.** Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы // АВОВ. – 2014. – № 1. – С. 6–11.
4. **Анисимова Е.Ю., Панферов В.И.** Эффективность управления микроклиматом здания в нерабочее время // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2014. – № 2. – С. 72–78.
5. **Barenburg A.W.T.** Psychrometry and Psychrometric Charts. – 3rd Edition. – Cape Town, S.A.: Cape and Transvaal Printers Ltd., 1974.

6. **Чистович С.А.** Автоматическое регулирование теплового режима здания с учетом быстрых и медленных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2013. – № 3. – 4 (71–72). – С. 73–76.

References

1. Bomon, S., Khol'tsveyler, E., Zakharov, V.M., Smirnov, N.N., Yablokov, A.A., Lapateev, D.A. Razrabotka i ispytanie avtomatizirovannykh okon s teplootrazhayushchimi ekranami, otvechayushchikh Rossiyskim i Evropeyskim trebovaniyam v oblasti energosberezheniya [Designing and testing of automated windows with heat-reflective shields that meet Russian and European requirements in the field of energy saving]. *Vestnik IGEU*, 2013, issue 5, pp. 13–24.
2. Zakharov, V.M., Smirnov, N.N., Lapateev, D.A. Snizhenie energozatrat putem primeneniya teplootrazhayushchikh ekranov v oknakh [Reduction of energy consumption by applying heat reflective shields in windows]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*, 2013, issue 1 (166), pp. 54–60.
3. Tabunshchikov, Yu.A. Energoeffektivnye zdaniya i innovatsionnye inzhenernye sistemy [Energy-efficient buildings and innovative engineering systems]. *AVOK*, 2014, issue 1, pp. 6–11.
4. Anisimova, E.Yu., Panferov, V.I. Effektivnost' upravleniya mikroklimatom zdaniya v nerabochee vremya [Efficiency of climate control of buildings in idle time]. *San tekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*, 2014, issue 2, pp. 72–78.
5. Barenburg, A.W.T. Psychrometry and Psychrometric Charts, 3rd Edition, Cape Town, S.A.: Cape and Transvaal Printers Ltd., 1974.
6. Chistovich, S.A. Avtomaticheskoe regulirovanie teplovogo rezhima zdaniya s uchetoм bystrykh i medlennykh teplovykh poter' cherez naruzhnyye ograzhdayushchie kon-

struktsii [Automatic control of a building thermal regime, taking into account fast and slow heat losses through the building envelope of enclosure]. *Teploenergoeffektivnye tekhnologii*, 2013, issue 3–4, pp. 73–76.

Захаров Вадим Михайлович,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, профессор кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-97-24,
e-mail: colia@rambler.ru

Смирнов Николай Николаевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
старший преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-97-89,
e-mail: nsmirnov@bk.ru

Яблоков Андрей Анатольевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры систем управления,
телефон (4932) 26-97-57,
e-mail: andrewyablokov@yandex.ru

Колосова Юлия Сергеевна
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
ассистент кафедры систем управления,
телефон (4932) 26-97-57,
e-mail: kolos_yul@mail.ru

Лапатеев Денис Александрович
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-97-89,
e-mail: l.denis7789@yandex.ru