

УДК 628.8: 681.5

В.В. Тютиков, А.А. Яблоков, Н.Н. Смирнов, Д.А. Лапатеев

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ С ИЗМЕНЯЕМЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОКОН

Предложены 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 учётом существующих энергосберегающих мероприятий для различных регионов России. Использовались результаты натурных испытаний окон с теплоотражающими экранами в сертифицированной климатической камере, а также статистические климатические данные по регионам России, предоставленные Росгидрометом. Результаты обрабатывались методом математической статистики. Многовариантные расчёты показателей использования энергосберегающих окон в системах теплоснабжения зданий осуществлялись с использованием программного комплекса Mathcad. Разработана методика по определению минимальной температуры воздуха внутри помещения при дежурном режиме отопления в случае использования в окнах теплоотражающих экранов. Авторами было предложено два принципа управления теплоотражающими экранами в окнах: по заданному графику; по сигналу от датчика наружной освещённости. Также была разработана автоматизированная система регулирования теплоснабжения зданий с применением теплоотражающих экранов (изменяемой сопротивлении теплопередаче). Система позволяет поддерживать различную температуру воздуха (в том числе и минимально-допустимую температуру дежурного режима отопления) во всех помещениях здания за счёт регулирования расхода теплоносителя в отопительный прибор. Изменение же расхода топлива котлом влияет на изменение температуры воздуха во всех помещениях. Определена экономия тепловой энергии при использовании окон с экранами для различных регионов России. Использование разработанных конструкций окон и схем автоматизации работы систем теплоснабжения поможет значительно снизить потребление ТЭР как в ЖКХ, так и в промышленном секторе.

Окна с теплоотражающими экранами; дежурный режим отопления; система регулирования теплоснабжения; автоматизация оконного блока; датчик присутствия; экономия энергоресурсов; регионы России.

V.V. Tyutikov, A.A. Yablokov, N.N. Smirnov, D.A. Lapateev

DEVELOPMENT OF AUTOMATED HEATING CONTROL SYSTEM FOR BUILDINGS WITH VARIABLE HEAT TRANSFER RESISTANCE OF WINDOWS

The new energy saving windows with heat-reflecting shields have been suggested, and for their practical use they need to be integrated into the automated system for controlling heat supply in buildings and the efficiency of their use together with the existing energy-saving measures for different regions of Russia must be determined. The results of field tests of windows with heat-reflective shields in a certified climate chamber were used, as well as statistical climatic data of Russian regions were provided by RosHydroMet. The results were processed by the methods of mathematical statistics. Multivariant calculations of energy efficient windows performance in heating of buildings were carried out using the Mathcad software. The method to determine the minimum indoor air temperature under standby heating using heat-reflective shields in the windows was developed. The authors suggested two principles of position control of heat-reflecting shields in the windows: on schedule; by a signal from the ambient light sensor. The system of automated control of buildings heating with the use of heat-reflective shields (variable heat transfer resistance) was developed. The system allows to maintain different indoor air temperature (including the minimum-allowable temperature for standby heating) in all areas of the building by con-

trolling the flow of heat transfer fluid in the heating device. The change in the fuel flow to the boiler influences on the changes in air temperature in all rooms. The annual savings of energy resources using heat-reflective shields for different regions of Russia were calculated. The use of the desinged 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.

Windows with heat-reflecting shields; standby heating; the heating control system; automation of window unit; presence detector; energy savings; the Russian regions.

Введение. В Российской Федерации за последние 5 лет заметно активизировалась законодательная деятельность в области требований по повышению энергоэффективности и энергосбережения [1]. В приказе Минрегионразвития от 28 мая 2010 г. № 262 и в Постановлении Правительства РФ от 25 января 2011 г. №18 требования к теплозащитным конструкциям и к потреблению энергии зданием значительно повышаются относительно ранее действующих. Требования должны выполняться при проектировании, экспертизе, строительстве, вводе и эксплуатации построенных, реконструированных или прошедших капитальный ремонт отапливаемых зданий, строений, сооружений. Так, после установления базового уровня, требования энергетической эффективности должны предусматривать уменьшение показателей, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении не реже 1 раза в 5 лет: с января 2011 г. (на период 2011 ÷ 2015 годов) – не менее чем на 15 % по отношению к базовому уровню, с 1 января 2016 г. (на период 2016 ÷ 2020 годов) – не менее чем на 30 % по отношению к базовому уровню, а с 1 января 2020 г. – не менее чем на 40 % по отношению к базовому уровню. Для достижения нормируемых величин потребления энергии в зданиях рекомендуется с 2011 г. помимо указанных в приказе других энергосберегающих мероприятий произвести замену окон на энергоэффективные (с приведенным сопротивлением теплопередаче $0,56 \div 0,8 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$), а с 2016 г. – «на окна с еще большей энергоэффективностью (с сопротивлением теплопередаче $1,0 \div 1,05 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$)».

Следовательно, разработка и испытание окон с повышенным сопротивлением теплопередаче, а также современных систем автоматизации управления теплоснабжением здания является весьма актуальной задачей.

Разработка и испытание энергосберегающих окон с теплоотражающими экранами. Современная индустрия производства окон предлагает различные энергосберегающие технологии [3–6]. Среди них можно выделить повышенную герметичность окон, увеличение слоёв остекления, заполнение стеклопакетов малотеплопроводными газами, использование теплоотражающих покрытий на стёклах, дополнительное вакуумирование с использованием стеклянных стержней и шаров, электрохромное остекление, заполнение аэрогелем и т.д. Но, к сожалению, данные конструкции имеют ряд существенных недостатков [3, 6].

Сотрудниками ИГЭУ были разработаны, испытаны и запатентованы энергосберегающие окна с теплоотражающими экранами рулонного, жалюзийного и панельного вида. Применение экранов целесообразно в тёмное время суток или в отсутствие людей. Была доказана актуальность и энергетическая эффективность применения данного вида конструкций, проведено математическое моделирование процесса теплопередачи [2]. Также было выявлено, что в жалюзи с эмалированными ламелями, предлагаемыми отечественными и импортными производителями, за счёт нанесения лакокрасочного покрытия значительно снижен энергосберегающий потенциал данной теплоотражающей конструкции. Так, в ходе испытания эмалированного образца жалюзи, мы получили увеличение сопротивления теплопередаче окна лишь на 12 %, а при испытании очищенных от краски жалюзи – на 37 %. Процесс отражения происходит в поверхностном слое экранов.

В сертифицированной климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» были проведены исследования [7] по изучению влияния применения теплоотражающих экранов в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижения 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 , °С	Приведенное сопротивление теплопередаче R , м ² °С/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 м²°С/Вт до 0,61 м²°С/Вт (на 29 %), а применение со стороны холодного отделения камеры дополнительно панели из двух металлических экранов, размещённых на расстоянии 10 мм друг от друга, повысило сопротивление до 1,76 м²°С/Вт (на 274 % к контролю 1 или на 189 % к контролю 2).

Действующие нормы СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» 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 °С – в жилых помещениях; 12 °С – в помещениях общественных и административно-бытовых зданий; 5 °С – в «сухих» производственных помещениях. В понижении температуры воздуха во время дежурного режима отопления заложен большой энергосберегающий потенциал [8, 9]. В большой степени минимальная температура воздуха при применении дежурного режима отопления определяется исходя из условий недопущения образования конденсата на ограждающих поверхностях, в том числе и окнах.

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 расчёты и опытные данные (табл. 1), при применении в окнах теплоотражающих экранов, установленных снаружи, увеличивается сопротивление теплопередаче до 1,76 м²°С/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).

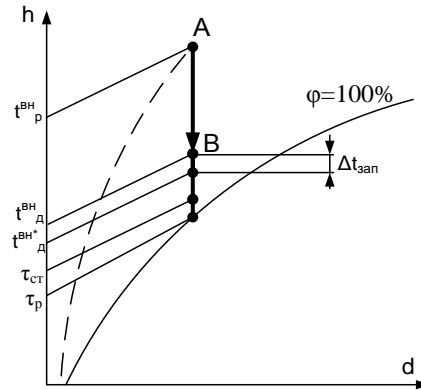


Рис. 1. К определению температуры воздуха при дежурном режиме отопления

Минимальную температуру внутреннего воздуха при дежурном режиме отопления можно определить как

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

где τ_p – температура точки росы при параметрах воздуха в рабочее время, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{\text{зап}}$ – температурный запас по недопущению конденсации (принимается в 1°C); $R_{\text{окна}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной зоны окна, $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$; $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стеклу, принимаем $8,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

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

$$\tau_p = \frac{b \cdot \gamma(t_p^{\text{вн}}, \varphi_p^{\text{вн}})}{a - \gamma(t_p^{\text{вн}}, \varphi_p^{\text{вн}})}, \quad (2)$$

где $a = 17,27$; $b = 237,7$;

$$\gamma(t_p^{\text{вн}}, \varphi_p^{\text{вн}}) = \frac{a \cdot t_p^{\text{вн}}}{b + t_p^{\text{вн}}} + \ln\left(\frac{\varphi_p^{\text{вн}}}{100}\right). \quad (3)$$

Таким образом, зная приведенное сопротивление окна $R_{\text{окна}}$ 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 нами 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 $1,757 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$, температура наружного воздуха t_n задавалась от минус 10 до минус 30 °C , температура воздуха в рабочее время фиксировалась на уровне 20 °C . Расчёт был произведён для относительной влажности ϕ , равной 35 и 50 %. Результаты расчётов можно увидеть на рис. 2.

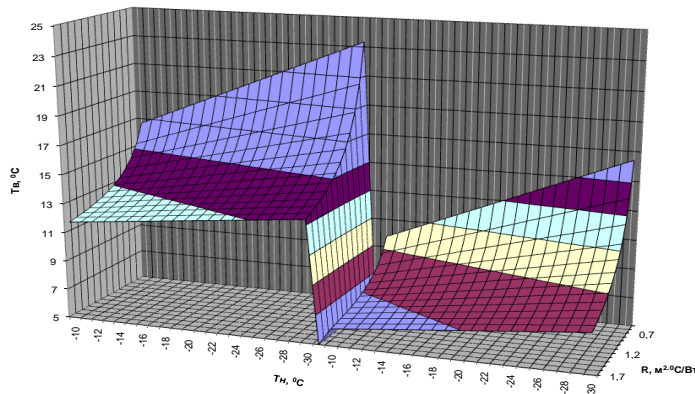


Рис. 2. Зависимость изменения минимально-допустимой температуры воздуха T_b при дежурном режиме отопления от R и t_n . Левая половина графика – при $\phi=50 \%$, правая – при $\phi=35 \%$

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

Получаем, что при применении окон с теплоотражающими экранами наблюдается двойной энергетический эффект: в отопительный период уменьшаются теплотери за счёт увеличения сопротивления окна, а также снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счёт понижения температуры воздуха внутри помещения.

Разработка системы автоматизации оконного блока. Автоматизация оконного блока заключается в установке электропривода, перемещающего теплоотражающий экран, и системы управления им. Автоматизация оконных блоков, естественно, влияет на их стоимость. Тем не менее подобные затраты оправдывают себя благодаря значительной экономии на отоплении и кондиционировании помещений. Кроме того, если в небольшом помещении ручное управление оконными блоками не представляет затруднений, то в производственных помещениях, загородных домах оконные блоки, оснащенные системами автоматического управления, позволяют значительно экономить время на поднятие и опускание теплоотражающих экранов.

Авторами статьи предлагается два принципа управления теплоотражающими экранами:

- ◆ по заданному графику;
- ◆ по сигналу от датчика наружной освещенности.

Рассмотрим несколько вариантов функциональных схем управления электроприводами оконных блоков с теплоотражающими экранами.

Управление электроприводом теплоотражающих экранов оконного блока.

На рис. 3 показаны функциональные схемы вариантов систем управления теплоотражающим экраном, реализующие принцип управления по заданному графику.

В схемах на рис. 3,а,б основным элементом системы управления является микропроцессорный контроллер, а в схеме на рис. 3,в – автоматический выключатель с таймером. В схемах на рис. 3,а,б экран поднимается, только если в помещении находится люди и в соответствии с графиком, заданном в контроллере, экран должен быть поднят в данное время суток.

В схеме на рис. 3,а для определения присутствия людей в помещении используется система, состоящая из инфракрасного импульсного датчика-излучателя, инфракрасного импульсного датчика-приемника и блока распознавания наличия людей в помещении.

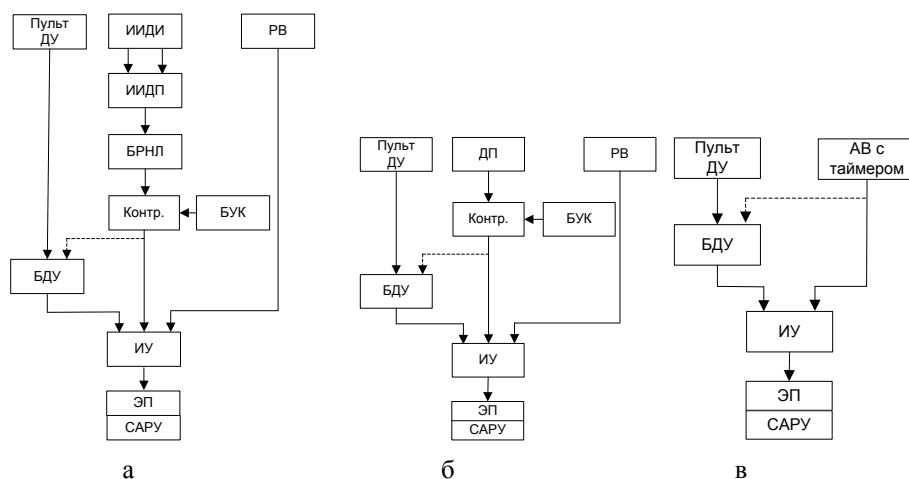


Рис. 3. Функциональные схемы систем управления электроприводом теплоотражающего экрана по заданному графику: ИИДИ – инфракрасные импульсные датчики-излучатели, ИИДП – инфракрасные импульсные датчики-приемники, БРНЛ – блок распознавания наличия людей в помещении, БУК – блок управления микропроцессорным контроллером, ДУ – дистанционное управление, БДУ – блок дистанционного управления, ДП – датчик присутствия, РВ – ручной выключатель, АВ – автоматический выключатель, ИУ – исполнительное устройство, САРУ – система аварийного ручного управления электроприводом, ЭП – электропривод

Блок распознавания наличия людей в помещении содержит определитель направления движения, детектор присутствия, счетчик количества присутствующих, индикатор присутствующих и кнопки прямого управления и коррекции. Светодиоды датчика-излучателя и датчика приемника устанавливаются на противоположных косяках двери на одинаковом расстоянии от пола, параллельно друг другу.

Определение направления движения основано на принципе прерывания двойного луча. При пересечении луча в направлении, заданном как вход, срабатывает датчик-приемник, выдающий сигнал на определитель направления движения, который в свою очередь изменяет показания счетчика. Причем входящий человек будет увеличивать показания счетчика на единицу, а выходящий – убавлять на единицу. Направление движения определяется по последовательности пересечения лучей. Количество присутствующих в помещении людей отображается на цифровом индикаторе. Кнопки прямого управления и коррекции предназначены для изменения количества присутствующих людей в помещении в ручном режиме.

В схеме на рис. 3,б для определения присутствия людей в помещении используется инфракрасный датчик присутствия. Принцип работы данного датчика основан на улавливании приемником инфракрасного излучения человека и выдаче сигнала на выходное реле, если человек двигается. Недостатком такого датчика является вероятность ложных срабатываний. Чтобы избежать частых поднятий и опусканий экранов в датчиках устанавливается время задержки. После обнаружения движения запускается отсчет времени. При обнаружении нового движения, результат обнуляется, и отсчет начинается заново.

Блок управления контроллером (БУК) предназначен для его программирования, с помощью него задается алгоритмы обработки входных сигналов и выдачи управляющего воздействия, график поднятия и опускания теплоотражающего экрана.

Блок дистанционного управления (БДУ) предназначен для беспроводного управления электроприводом по сигналу, получаемому от пульта дистанционного управления. БДУ может быть как отдельным устройством, так и встроенным в ручной выключатель, контроллер, исполнительное устройство или электропривод. Снабжение системы дистанционным управлением обеспечивает дополнительное удобство обслуживания.

Ручной выключатель предназначен для управления теплоотражающим экраном в случае отказа контроллера и при появлении необходимости опустить или поднять экран вне заданного графика.

Ручной выключатель и контроллер подключаются к исполнительному устройству, предназначенному для управления электроприводом и разделением контуров управления.

Система на рис. 3,в аварийного ручного управления электроприводом (САРУ) в случае отсутствия электричества позволяет поднимать или опускать теплоотражающий экран вручную.

В схеме в поднятие и опускание экранов производится только по графику, заданному в автоматическом выключателе. Автоматический выключатель с таймером является более дешевым решением для реализации принципа управления теплоотражающим экраном по заданному графику, однако имеет ограниченные функциональные возможности.

На рис. 4 показана электрическая схема реализации функциональной схемы 1в на основе оборудования Nero Electronics. Управление производится по сети 230 В. Аналогичные схемы могут быть собраны на основе оборудования ABB Busch-Jalousiecontrol II, Siemens Synco living и др.

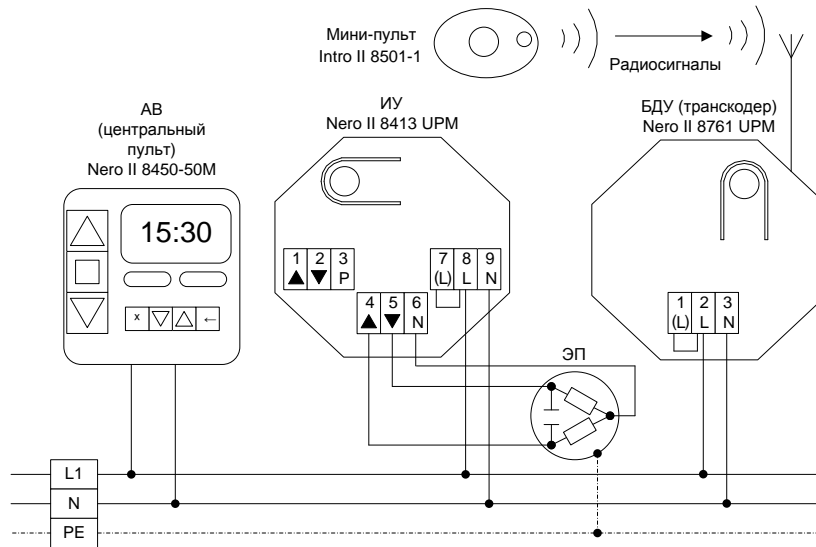


Рис. 4. Электрическая схема реализации системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по заданному графику

На рис. 5 приведена функциональная схема системы управления электроприводом теплоотражающего экрана с датчиком наружной освещенности. В этой схеме теплоотражающие экраны поднимаются, если в помещении находятся люди и освещенность снаружи здания превышает заданное в контроллере значение. Чувствительным элементом датчика наружной освещенности является фотоэлемент.

На рис. 6 показана схема реализации системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по сигналу от датчика внешней освещенности на основе шинной технологии (оборудование АВВ i-bus KNX).

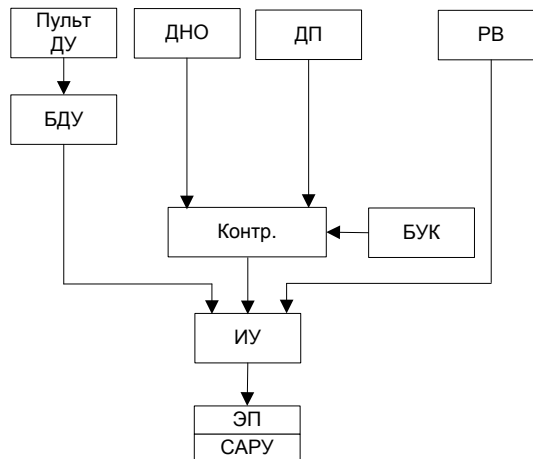


Рис. 5. Функциональная схема системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по сигналу от датчика внешней освещенности

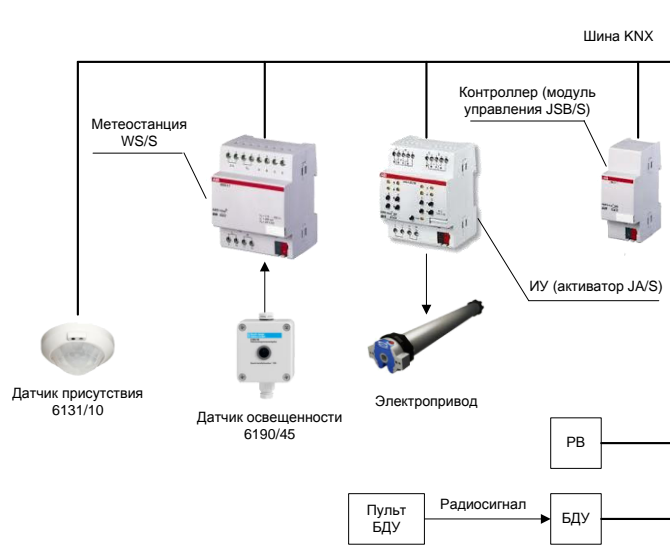


Рис. 6. Схема реализации системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по сигналу от датчика внешней освещенности

Аналогичные структурные схемы могут быть собраны на основе оборудования Clipsal, Gira, Siemens GAMMA instabus, и др. [15, 17, 20].

Управление группой электроприводов теплоотражающих экранов. На рис. 7 показана функциональная схема системы управления группой электроприводов теплоотражающих экранов, находящихся в одном помещении. В данной схеме управление каждой группой электроприводов осуществляется с помощью отдельного пульта дистанционного управления и отдельного ручного выключателя. Также может быть организовано управление всеми группами электроприводов с помощью одного пульта дистанционного управления и одного ручного выключателя.

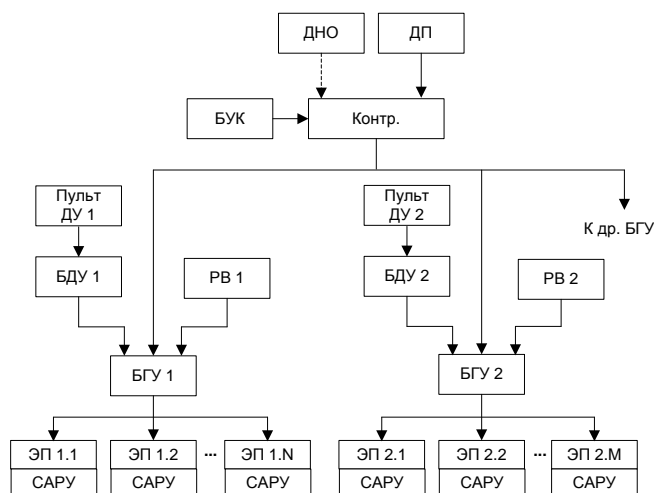


Рис. 7. Функциональная схема системы управления группой электроприводов теплоотражающих экранов, находящихся в одном помещении: БГУ – блок группового управления

Для одновременного управления несколькими электроприводами вместо обычного исполнительного устройства используется блок группового управления (или многоканальное исполнительное устройство).

Целесообразно объединять в группу электроприводы оконных блоков, находящихся в одном помещении (если в помещении оконных блоков с электроприводами больше, чем количество, которым может управлять БГУ, то формируются дополнительные группы по территориальному признаку), и электроприводы одного оконного блока (в случае, если оконный блок имеет несколько экранов, и каждый экран перемещается своим внутривальным электроприводом).

Для управления электроприводами теплоотражающих экранов в офисных помещениях целесообразно использовать схемы, показанные на рис. 3, 5 для каждого офиса, только для офисов, находящихся на одной стороне здания, использовать один датчик внешней освещенности, сигнал от которого подавать на соответствующие контроллеры.

Автоматизированная система регулирования теплоснабжения зданий с применением теплоотражающих экранов. Авторами, принимая во внимание последние инновации в области регулирования теплового режима здания с учётом быстрых и медленных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции [11], была разработана и запатентована автоматизированная система регулирования теплоснабжения зданий с применением теплоотражающих экранов (рис. 8), 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 пофасадно. 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.

Система регулирования для промышленных зданий дополнительно реализует дежурный режим отопления, при котором задаваемая температура воздуха внутри помещения рассчитывается по формуле (1).

Система может быть реализована на основе оборудования домашней автоматизации, работающего по открытому протоколу KNX [16, 18, 19] или промышленных контроллерах.

Определение эффективности применения автоматизированной системы теплоснабжения зданий с регулируемым сопротивлением теплопередаче. Авторами 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.

Был проведён анализ использования экранов для городов РФ, представляющих различные климатические зоны. Расчёт производили для окна со стеклопакетом формулой $4M1x10x4M1x10x4И$ (с теплоотражающим «И» покрытием) с использованием панельного экрана, состоящего из двух металлических листов, разделённых малотеплопроводной рамкой (табл. 1)

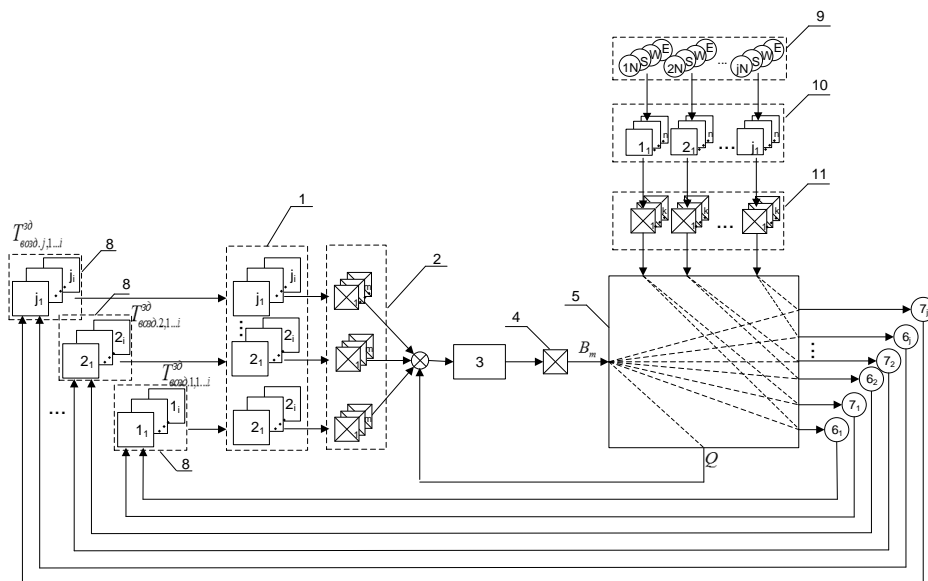


Рис. 8. Автоматизированная система регулирования теплоснабжением зданий с применением теплоотражающих экранов: 1 – регуляторы температуры воздуха в помещениях; 2 – регулирующие клапаны отопительных приборов; 3 – регулятор расхода топлива на котел; 4 – регулирующий орган подачи топлива на котел; 5 – объект 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; $1 \dots i$ – номер помещения/комнаты; $1 \dots j$ – номер здания; $1 \dots n$ – номер регулятора положения теплоотражающих экранов; $1 \dots k$ – номер электропривода теплоотражающих экранов; $1 \dots t$ – номер регулирующего клапана отопительного прибора; N, S, W, E – северный, южный, западный и восточный фасады здания соответственно

Внутри помещения в рабочее время суток принималась расчётная температура в 20°C и относительная влажность 40 %. В нерабочее время (и тёмное 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. Стоит особо отметить, что при расчётах не учитывалась инерционная составляющая ограждающих конструкций зданий (стен, окон и т.д.) и систем энергообеспечения, что даёт несколько завышенные, «теоретические» значения экономии тепловой энергии. Для определения реальной экономии тепловой энергии в случае использования прерывистого режима отопления согласно рекомендациям учёных, занимающихся данным вопросом [12–14], важно учитывать инерционные возможности отопительных приборов (конвекторы – обладают малой инерционностью, чугунные радиаторы и нагревательная панель в стене – высокой), способы отопления (водяное отопление – инерционная, воздушное – малоинерционная система), теплоустойчивость помещений, способы организации «натоп» помещений.

Определялись потери теплоты за отопительный период с одного квадратного метра окна. Данные расчётов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Потери теплоты за отопительный период с одного квадратного метра светопрозрачных конструкций, Гкал

Город	Конт-роль, Q_k	С применением дежурного режима отопления ($t_{\text{деж}}=12\text{ }^{\circ}\text{C}$), $Q_{\text{деж}(12)}$	С применением экрана, Q_3	С применением экрана и дежурного режима отопления ($t_{\text{деж}}=12\text{ }^{\circ}\text{C}$), $Q_{\text{деж}(12)+3}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой, $Q_{\text{деж}(\text{min})+3}$
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 3

Экономия теплоты за отопительный период с одного квадратного метра светопрозрачных конструкций, Гкал / %

Город	С применением дежурного режима отопления ($t_{\text{деж}}=12\text{ }^{\circ}\text{C}$), $\Delta Q_{\text{деж}(12)}$	С применением экрана, ΔQ_3	С применением экрана и дежурного режима отопления ($t_{\text{деж}}=12\text{ }^{\circ}\text{C}$), $\Delta Q_{\text{деж}(12)+3}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой, $\Delta Q_{\text{деж}(\text{min})+3}$
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

Таким образом, максимальную экономию тепловой энергии мы получаем 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, причём максимальную экономию (0,235 Гкал) мы получили для условий города Норильска.

Выводы. Применение предложенных конструкций окон с теплоотражающими экранами, прерывистого режима отопления, методики по определению минимально-допустимой температуры воздуха исходя из условия недопущения выпадения конденсата поможет добиться значений потребления энергоресурсов, устанавливаемых для зданий российскими нормами [1]. Предложенные технологии являются весьма актуальными и доступными для объектов ЖКХ, общественно-административных и производственных зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ливчак В.И. Энергетическая эффективность зданий. К чему приведет СП 50-13330-2012 «Тепловая защита» и как выполнить постановление Правительства России // Энергосовет. – 2013. – Вып. 2 (27). – С. 32-41.

2. *Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Ланатеев Д.А.* Снижение энергозатрат путём применения теплоотражающих экранов в окнах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – Вып. 1 (166). – С. 54-60.
3. *Carmody J., Selkowitz S., Heschong L.* Residential windows: a guide to new technologies and energy performance. – New York, 2000. – 315 с.
4. *Urbikain M.K., Sala J.M.* Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings // Energy and Buildings. – 2009. – Vol. 41, Issue 6. – P. 687-695.
5. *Fasia M.A., Budaiwib I. M.* Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 108. – P. 307-316.
6. *Табунников Ю.А.* Окно как интеллектуальный элемент конструкции здания // Энергосбережение. – 2008. – Вып. 2. – С. 16-21.
7. *Бомон С., Хольтсвейлер Э., Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Яблоков А.А., Ланатеев Д.А.* Разработка и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих Российским и Европейским требованиям в области энергосбережения // Вестник ИГЭУ. – 2013. – № 5. – С. 13-24.
8. *Табунников Ю.А.* Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы // АВОК. – 2014. – № 1. – С. 6-11.
9. *Анисимова Е.Ю., Панферов В.И.* Эффективность управления микроклиматом здания в нерабочее время // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2014. – № 2. – С. 72-78.
10. *Barenburg A.W.T.* Psychrometry and Psychrometric Charts. – 3rd Ed. Cape Town, S.A.: Cape and Transvaal Printers Ltd., 1974.
11. *Чистович С.А.* Автоматическое регулирование теплового режима здания с учётом быстрых и медленных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции // Тепло-энергоэффективные технологии. – 2013. – № 3-4 (71-72). – С. 73-76.
12. *Табунников Ю.А., Бродач М.М.* Экспериментальные исследования оптимального управления расходом энергии // АВОК. – 2006. – № 1. – С. 32-40.
13. *Табунников Ю.А., Бродач М.М.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
14. *Панферов В.И., Анисимова Е.Ю.* Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник ЮУрГУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2008. – Вып. 6, № 12. – С. 30-37.
15. *Zhang J., Cheng D.* Application of Siemens KNX/EIB intelligent control system in Building energy saving construction // Low Voltage Apparatus. – 2009. – No. 12. – P. 20-25.
16. *Sita I.-V., Dobra P.* KNX building automations interaction with city resources management system // Proc. of the 7th international conference interdisciplinarity in engineering. – 2013. – P. 10-11.
17. *Bhat J., Verma H.K.* Design and development of wired building automation systems // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 103. – P. 396-413.
18. *Teich T., Szendrei D., Schrader M., Jahn F., Franke S.* Feasibility of integrating heating valve drivers with KNX-standard for performing dynamic hydraulic balance in domestic buildings // International journal of civil, environmental, structural, construction and architectural engineering. – 2011. – Vol. 5. – P. 58-63.
19. *Levin Sh.* Modular design and improvement system in the smart home with the use of interval multiset estimates // Journal of communications technology and electronics. – 2013. – Vol. 58. – P. 584-593.
20. *Rita Yi Man Li.* The usage of automation system in smart home to provide a sustainable indoor environment: a content analysis in web 1.0 // International journal of smart home. – 2013. – Vol. 7. – P. 47-59.

REFERENCES

1. *Livchak V.I.* Energeticheskaya effektivnost' zdaniy. K chemu privedet SP 50-13330-2012 «Teplovaya zashchita» i kak vpolnit' postanovlenie Pravitel'stva Rossii [The energy efficiency of buildings. What will the result of Rulebook 50.13330-2012 "Thermal protection" and how to implement the decision of the Russian Government], *Energosovet* [Energosovet], 2013, Issue 2 (27), pp. 32-41.

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 screens in windows], *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU* [Scientific and technical statements of SPbSPU], 2013, Issue 1 (166), pp. 54-60.
3. *Carmody J., Selkowitz S., Heschong L.* Residential windows: a guide to new technologies and energy performance. New York, 2000, 315 p.
4. *Urbikain M.K., Sala J.M.* Analysis of different models to estimate energy savings related to windows in residential buildings, *Energy and Buildings*, 2009, Vol. 41, Issue 6, pp. 687-695.
5. *Fasia M.A., Budaiwib I. M.* Energy performance of windows in office buildings considering daylight integration and visual comfort in hot climates, *Energy and Buildings*, 2015, Vol. 108, pp. 307-316.
6. *Tabunshchikov Yu.A.* Okno kak intellektual'nyy element konstruksii zdaniya [Window as an intellectual element of the building structure], *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2008, Issue 2, pp. 16-21.
7. *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* [Vestnik IGEU], 2013, No. 5, pp. 13-24.
8. *Tabunshchikov Yu.A.* Energoeffektivnye zdaniya i innovatsionnye inzhenernye sistemy [Energy-efficient buildings and innovative engineering systems], *AVOK* [AVOK], 2014, No. 1, pp. 6-11.
9. *Anisimova E.Yu., Panferov V.I.* Effektivnost' upravleniya mikroklimatom zdaniya v nerabochee vremya [Efficiency of climate control buildings after hours], *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie* [Sanitary, heating, air conditioning], 2014, No. 2, pp. 72-78.
10. *Barenburg A.W.T.* Psychrometry and Psychrometric Charts. 3rd Ed. Cape Town, S.A.: Cape and Transvaal Printers Ltd., 1974.
11. *Chistovich S.A.* Avtomaticheskoe regulirovanie teplovogo rezhima zdaniya s uchetom bystrykh i medlennykh teplovykh poter' cherez naruzhnye ograzhdayushchie konstruksii [Automatic control of the thermal regime of the building, taking into account the fast and slow heat loss through the building envelope], *Teplo-energoeffektivnye tekhnologii* [Thermal energy-efficient technologies], 2013, No. 3-4 (71-72), pp. 73-76.
12. *Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M.* Eksperimental'nye issledovaniya optimal'nogo upravleniya raskhodom energii [Experimental study of optimal control of energy consumption], *AVOK* [AVOK], 2006, No. 1, pp. 32-40.
13. *Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M.* Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovykh effektivnosti zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow: AVOK-PRESS, 2002, 194 p.
14. *Panferov V.I., Anisimova E.Yu.* Analiz vozmozhnosti ekonomii teplovykh energii pri preryvistom rezhime otopeniya [Analysis of the potential savings of thermal energy in the intermittent heating], *Vestnik YuUrGU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Vestnik YuUrGU: Building and architecture], 2008, Issue 6, No. 12, pp. 30-37.
15. *Zhang J., Cheng D.* Application of Siemens KNX/EIB intelligent control system in Building energy saving construction, *Low Voltage Apparatus*, 2009, No. 12, pp. 20-25.
16. *Sita I.-V., Dobra P.* KNX building automations interaction with city resources management system, *Proc. of the 7th international conference interdisciplinarity in engineering*, 2013, pp. 10-11.
17. *Bhat J., Verma H.K.* Design and development of wired building automation systems, *Energy and Buildings*, 2015, Vol. 103, pp. 396-413.
18. *Teich T., Szendrei D., Schrader M., Jahn F., Franke S.* Feasibility of integrating heating valve drivers with KNX-standard for performing dynamic hydraulic balance in domestic buildings, *International journal of civil, environmental, structural, construction and architectural engineering*, 2011, Vol. 5, pp. 58-63.

19. *Levin Sh.* Modular design and improvement system in the smart home with the use of interval multiset estimates, *Journal of communications technology and electronics*, 2013, Vol. 58, pp. 584-593.
20. *Rita Yi Man Li.* The usage of automation system in smart home to provide a sustainable indoor environment: a content analysis in web 1.0, *International journal of smart home*, 2013, Vol. 7, pp. 47-59.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.И. Неизвестный.

Тютиков Владимир Валентинович – Ивановский государственный энергетический университет; e-mail: tvv@ispu.ru; 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34; тел.: +74932385757; кафедра автоматизации технологических процессов; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Яблоков Андрей Анатольевич – кафедра автоматического управления электроэнергетическими системами; ассистент.

Смирнов Николай Николаевич – кафедра промышленной теплоэнергетики; доцент.

Лапатеев Денис Александрович – кафедра промышленной теплоэнергетики; ассистент.

Tyutikov Vladimir Valentinovich – Ivanovo State Power Engineering University; e-mail: tvv@ispu.ru; 34, Rabfakovskaya street, 153003, Ivanovo, Russia; phone: +74932385757; the department of work process automation; head of department; dr. of eng. sc.; professor.

Yablokov Andrey Anatol'evich – the department of electric power systems automatic control; assistant.

Smirnov Nikolay Nikolaevich – the department of industrial heat power engineering; associate professor.

Lapateev Denis Alexandrovich – the department of industrial heat power engineering; assistant.

УДК 621.396.969.1

В.Т. Лобач, А.О. Касьянов, М.В. Потипак, В.А. Алехин, К.В. Суматохин

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ КАНАЛОВ МИМО ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

В последнее время наблюдается повышенный интерес к использованию технологии Multiple Input Multiple Output (MIMO) в разработке радаров различного назначения. Радары, использующие традиционную технологию МИМО, имеют несколько передающих антенн, параллельно излучающих ортогональные зондирующие сигналы. Отраженные от элементов радиолокационной сцены зондирующие сигналы параллельно поступают на входы приемных антенн, формируя набор импульсных характеристик трасс распространения, называемый матрицей каналов МИМО. К основным достоинствам МИМО-радаров относят повышение вероятности обнаружения, улучшение пространственной разрешающей способности, широкий сектор обзора. В работе рассматривается методология построения когерентного МИМО-радар с частотным разделением. Основным отличием предлагаемого решения от существующих аналогов является последовательная процедура формирования матрицы каналов МИМО. Показано, что для построения матрицы каналов МИМО последовательным способом требуется большее количество ортогональных зондирующих сигналов и в два раза больше времени, что при определенных условиях может приводить к проигрышу в отношении сигнал/шум не более 3 дБ по отношению к традиционному параллельному способу. Для оценки разрешающей способности по дальности, скорости и пеленгу проведен анализ функций неопределенности «дальность-скорость», «дальность-пеленг» и «скорость-пеленг». Показано, что применение многочастотных зондирующих сигналов, совместно с пространственной селекцией отраженных сигналов, позволяет проводить