

УДК 699.86; 681.5

Разработка и испытание автоматизированных окон с теплоотражающими экранами, отвечающих российским и европейским требованиям в области энергосбережения

С. Бомон¹, Э. Хольтсвейлер¹, В.М. Захаров², Н.Н. Смирнов², А.А. Яблоков², Д.А. Лапатеев²
¹Научно-технический комитет по промышленной климатологии (COSTIC), г. Сэн Реми ле Шеврез, Франция
²ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: nsmirnov@bk.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Существующие европейские и российские нормы в области энергосбережения предъявляют высокие требования к годовому потреблению энергоресурсов и, в частности, к коэффициенту сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций. В связи с этим необходима разработка новых энергоэффективных окон.

Материалы и методы: Использованы результаты натурных испытаний окон с теплоотражающими экранами в сертифицированной климатической камере, проведенных с применением методики определения сопротивления оконных блоков. Результаты обработаны методами математической статистики.

Результаты: Выполнен анализ европейских и российских требований в области энергосбережения и повышения энергоэффективности для зданий в целом и для светопрозрачных конструкций в частности. Разработаны конструкции энергосберегающих окон с теплоотражающими экранами рулонного, жалюзийного и панельного вида. С учетом результатов натурных испытаний рассмотрены вопросы снижения нагрузок на системы отопления, вентиляции и кондиционирования зданий за счет применения теплоотражающих экранов, в том числе при дежурном режиме отопления. Разработаны схемы автоматизации работы окон с теплоотражающими экранами.

Выводы: Использование разработанных конструкций окон позволит значительно снизить потребление топливно-энергетических ресурсов как в ЖКХ, так и в промышленном секторе.

Ключевые слова: требования к энергоэффективности зданий в Европе, тепловые регламенты во Франции, автоматизированные окна, теплоотражающие экраны, теплоотражающее покрытие, гидравлический разделитель, снижение тепловых потерь, дежурный режим отопления.

Designing and testing of automated windows with heat-reflective shields that meet Russian and European energy saving requirements

C. Beaumont¹, E. Holtzweiler¹, V.M. Zakharov², N.N. Smirnov², A.A. Yablokov², D.A. Lapateev²
¹Scientific and Technical Committee for Industrial Climatology
(COSTIC – Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques), St Rémy lès Chevreuse, France
²Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: nsmirnov@bk.ru

Abstract

Background: The existing European and Russian energy saving standards specify strict requirements for the annual energy consumption and the coefficient of heat transfer resistance of windows, in particular. It is necessary to design new energy-efficient windows.

Materials and methods: The study was based on the results of field tests of windows with heat-reflective shields in a certified climate chamber. The tests were carried out employing the technique of determining window unit resistance. The results were processed by mathematical statistics methods.

Results: We analyzed the Russian and European energy saving and energy efficiency requirements for buildings in general and for transparent constructions, in particular. Energy-efficient windows with heat-reflective shields of roll, jalousie and panel types were designed. According to the results of field tests, we considered the problems of reducing the load on heating, ventilation and air conditioning systems of buildings by applying heat-reflective shields including standby mode heating. We also developed automation schemes for heat-reflective shield windows.

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

Key words: requirements for energy efficiency of buildings in Europe, thermal regulations in France, automated windows with heat-reflective shields, heat reflecting coating, hydraulic splitter, heat loss reduction, standby heating.

В последние десятилетия во многих странах мира повысились требования к энергетической эффективности зданий, строений и сооружений, что связано со значительными затратами на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР),

вызванными постоянным увеличением тарифов на энергоносители, с ростом общего потребления энергии в связи с повышением уровня жизни населения и количества потребителей, со стремлением к энергетической независимости

от нефте-, газодобывающих государств. В качестве мероприятий по снижению энергопотребления предлагается оптимизация работы и повышение эффективности оборудования систем отопления, вентиляции, использование возобновляемых и альтернативных источников энергии, утилизация теплоты вытяжного воздуха и т.д., а также повышение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Рассмотрены требования к теплозащите светопрозрачных конструкций.

Европейские требования к энергоэффективности зданий. К лидерам в области проведения последовательной энергетической политики можно отнести Германию, Францию, Великобританию, а также Данию и Словению.

В странах ЕС действуют стандарты CEN, утвержденные Европейским комитетом по стандартизации (Comité Europeen de Normalisation), тепловые регламенты RT (Réglementation Thermique) в области энергетической эффективности зданий. Юридическим документом в области энергосбережения, обязательным для исполнения во всех странах ЕС, является Директива по энергетическим характеристикам зданий (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD). Более высокие требования EPBD, принятой в 2010 году, должны быть внедрены во всех странах ЕС к 2020 году [1]. Так, энергетические характеристики всех новых зданий к 2020 году должны практически соответствовать значениям характеристик «зданий с нулевым потреблением энергии», причем общественные здания должны соответствовать данным требованиям уже к 2018 г. Усиливается роль европейских унифицированных стандартов в национальных законодательствах; увеличивается доля использования энергии, полученной из возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В среднем, согласно Европейской директиве по

использованию возобновляемых источников энергии (RES Directive), страны должны увеличить долю ВИЭ до 10 % от общего потребления первичной энергии [1]. В национальных технических регламентах требования относительно использования ВИЭ различны. Так, в Германии данная величина варьируется в диапазоне от 15 до 50 %, в Словении – от 25 до 70 %.

В странах Европы установлены национальные требования к теплозащите зданий, причем постоянно вводятся новые, более высокие теплозащитные характеристики ограждающих конструкций (табл. 1). Следует отметить, что в ряде стран предусматриваются различные значения для жилых и общественных зданий.

Анализ данных табл. 1 показывает, что требования к коэффициенту сопротивления теплопередаче для ограждающих конструкций во многом зависят как от географического местоположения страны, так и от политики энергосбережения: чем ближе к северу расположено государство, тем более высокие значения коэффициента. Так, требуемый коэффициент сопротивления теплопередаче для окон в южных районах Италии составляет $0,23 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а для Финляндии данный показатель должен быть не менее $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Особое внимание в национальных требованиях по теплозащите также уделяется вопросам, связанным с расчетом «мостиков холода» и герметичностью ограждающих конструкций.

Требования к энергоэффективности зданий во Франции. Во Франции, как и в большинстве европейских стран, большая часть потребляемой энергии приходится на здания (рис. 1). На энергоснабжение зданий приходится до 44 % потребляемых ТЭР, что представляет собой значительный потенциал для экономии энергии.

Таблица 1. Требуемые значения коэффициента сопротивления теплопередаче для типовых зданий в некоторых европейских странах [1]

Показатель	Франция	Бельгия	Германия		Велико-британия	Италия	Дания	Норвегия	Швеция	Финляндия
Год принятия требований	2005	2008	2009		2010	2010	2006	2007	2008	2010
Тип здания	жилое	жилое	жилое	общественное	общественное	–	–	–	–	–
Коэффициент сопротивления теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$										
Стены	2,78	2,0	3,57	$3,57/2,86^1$	5,55	$3,03(1,61)^2$	5,00	5,56	5,56	5,88
Кровли	5,00	3,33	5,00	$5,0/2,86^1$	6,67	$3,45(2,63)^2$	5,56	7,69	7,69	11,11
Окна	0,42	0,47	0,77	$0,77/0,53^1$	0,67	$0,5(0,23)^2$	0,67	0,83	0,76	1,0
Пол	3,70	1,11	2,86	$2,86/2,86^1$	4,76	$3,12(1,54)^2$	$6,67(8,33)^3$	6,67	6,67	5,88

¹ Для температуры внутреннего воздуха $> 19 \text{ °C}$ / $< 19 \text{ °C}$ соответственно.

² Пороговое значение для самых теплых климатических зон Италии.

³ При использовании теплых полов.

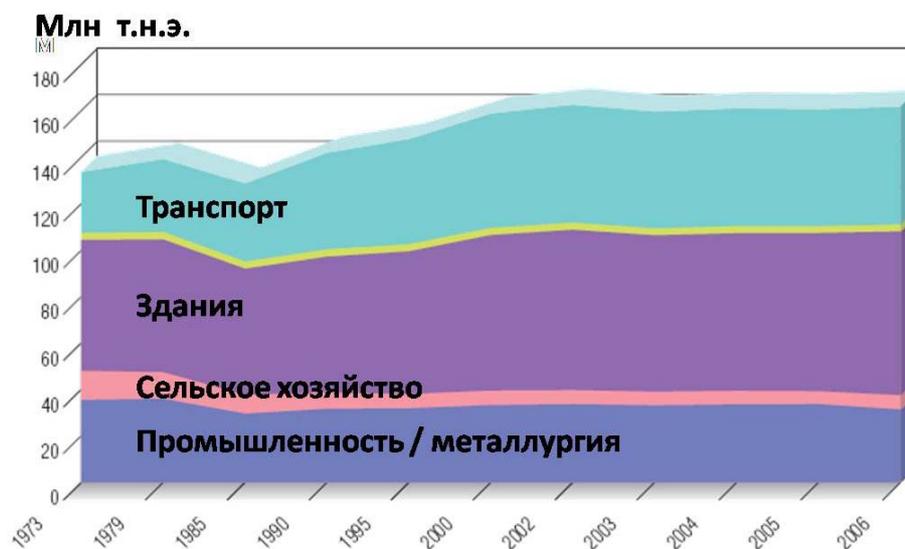


Рис. 1. Распределение потребления энергии (в млн тонн нефтяного эквивалента) во Франции за период с 1973 г. по 2006 г.

В республике были приняты тепловые регламенты RT, устанавливающие поэтапное снижение потребления энергии в зданиях (рис. 2). В качестве регламентируемой величины выступает годовое потребление энергии в расчете на 1 м² площади здания Q, кВт·ч/(м²·год). На основании требований закона Гренель (Loi Grenelle) от 3 августа 2009 года и теплового регламента RT 2012, с 1 января 2013 года разрешается строить здания только с низким потреблением энергии (BBC, Q<50 кВт·ч/(м²·год) в зависимости от региона Франции), а с 1 января 2020 года – здания только с «положительной энергией» (Bâtiment à énergie positive, BEPos), т.е. с положительным балансом, например при производстве электроэнергии у потребителя (часто фотогальваническим способом), что соответствует требованиям EPBD. Данным зданиям присваивается класс энергетической эффективности «А».

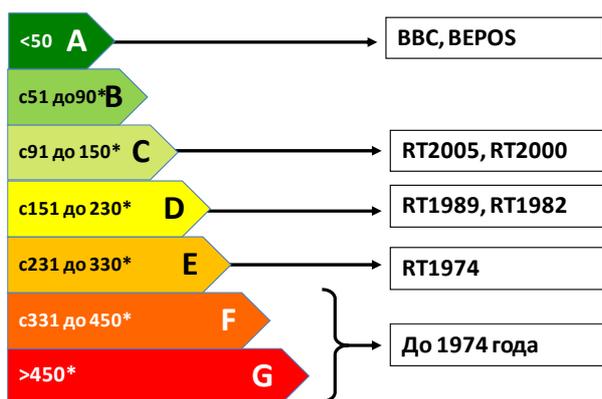


Рис. 2. Классы энергетической эффективности зданий от G до А и годовые нормы потребления энергии Q, установленные техническими регламентами по годам (* – в кВт·ч/(м²·год)

За 40 лет (с 1974 г. по 2013 г.) годовые допустимые нормы потребления энергии на здания (отопление, ГВС, сервисное потребление, освещение, вентиляция / кондиционирование) снизились в 9 раз (с 450 кВт·ч/(м²·год) до

50 кВт·ч/(м²·год) и менее), и для новой двухкомнатной квартиры в Париже площадью в 60 м² годовое потребление всех видов энергии не должно превышать 3000 кВт·ч/год, что эквивалентно годовым затратам только на электрическую энергию для среднестатистической квартиры в Центральном регионе России, без учета затрат на отопление и вентиляцию. Но следует отметить, что расчетная температура наружного воздуха во Франции для северных регионов страны (Эльзас, Лотарингия, Нормандия) принимается не ниже минус 15 °С, хотя для климатических условий России данный параметр опускается до минус 59 °С.

Таблица 2. Процент от затрат на приобретение некоторого энергосберегающего оборудования, возвращаемый налогоплательщикам

Описание оборудования	По состоянию на 2009 год	По состоянию на 2013 год
Теплонасосные установки	40 %	15 %
Солнечные коллекторы	50 %	32 %
Когенерационные установки	–	17%
Конденсационные котлы	25 %	10 %
Терморегуляторы	25 %	15 %
Замена окон с однокамерных стеклопакетов на двухкамерные	25 %	15 %

Необходимо указать на тот факт, что во Франции в целях стимулирования внедрения энергосберегающих технологий в действующие здания применяются налоговые вычеты для населения (табл. 2) и часть денег, потраченных на повышение энергоэффективности зданий, возвращается налогоплательщикам после заполнения декларации.

Значения нормируемого коэффициента сопротивления теплопередаче для окон, уста-

навливаемого тепловыми регламентами RT с 1974 г. по 2020 г., представлены в табл. 3.

Таблица 3. Требования к нормируемому сопротивлению теплопередаче R для окон во Франции

Технический регламент	Описание окна	$R = 1/U_w, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
RT 1974	Одинарное остекление	0,17
1975-2000	Двойное остекление	0,34
RT 2005	Двойное остекление	0,42
RT 2012	Двойное остекление с теплоотражающим покрытием	0,72
Пассивный дом, EPBD (2020 год)		1,67–2,0

Анализ данных табл. 3 показывает, что к 2020 г. в строящихся зданиях с нулевым потреблением энергии должны быть установлены окна с минимальным сопротивлением теплопередаче от 1,67 до 2,0 $\text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Требования к энергоэффективности зданий в России. В Российской Федерации в последние 5 лет заметно активизировалась законодательная деятельность в области требований по повышению энергоэффективности и энергосбережения.

Так, были приняты Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ¹, Приказ Минрегионразвития от 28 мая 2010 года № 262², Постановление Правительства РФ от 25 января 2011 г. №18³, Свод правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»⁴. К сожалению, в вышеуказанных документах присутствуют некоторые противоречия. По мнению вице-президента НП «АВОК», государственного эксперта по энергоэффективности проектной документации в строительстве, канд. техн. наук В.И. Ливчака, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» «рекомендует увеличение потребления тепловой энергии на отопление по сравнению с действующим до него СНиПом» [2].

Однако следует отметить следующие требования в области энергосбережения в данных правовых актах. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», при проектировании тепловой защиты строящихся или реконструируемых зданий нормируемое

значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции R_0^{TP} , ($\text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), определяется исходя из градусо-суток отопительного периода (ГСОП), вида здания и ограждающей конструкции. Например, для окон большинства зданий (за исключением производственных с сухим или нормальным режимом) в северных регионах страны с ГСОП, большим 12000 $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, R_0^{TP} должен быть не ниже 0,8 $\text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

В приказе Минрегионразвития от 28 мая 2010 года № 262 и в Постановлении Правительства РФ от 25 января 2011 г. №18 требования к теплозащите конструкций и к потреблению энергии зданием увеличиваются. 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.

В приказе Минрегионразвития от 28 мая 2010 года № 262 приводятся нормируемые базовые уровни удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий по годам: с 2011, 2016 и с 2020 гг. Например, нормируемый удельный расход на отопление административных зданий (5 этажей) должен сократиться с 27 до 16 $\text{ кДж}/(\text{ м}^3 \cdot \text{°C} \cdot \text{сут})$ (рис. 3).

В этом же приказе зданиям с вышеуказанным потреблением энергии присваивается класс «В» (высокий) и по достижении нормируемых величин рекомендуется с 2011 года помимо указанных в приказе других энергосберегающих мероприятий произвести замену окон на энергоэффективные (с приведенным сопротивлением теплопередаче 0,56–0,8 $\text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), а с 2016 года – на окна с еще большей энергоэффективностью (с сопротивлением теплопередаче 1,0–1,05 $\text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$).

¹ Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

² Приказ Минрегионразвития РФ от 28 мая 2010 года № 262 «О требованиях энергетической эффективности зданий, строений, сооружений».

³ Постановление Правительства РФ от 25 января 2011 г. №18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».

⁴ Свод правил СП 50.13330.2012. «Тепловая защита зданий». – Введ. 01 июля 2013г. – М.: Минрегион России, 2012. – 96 с.

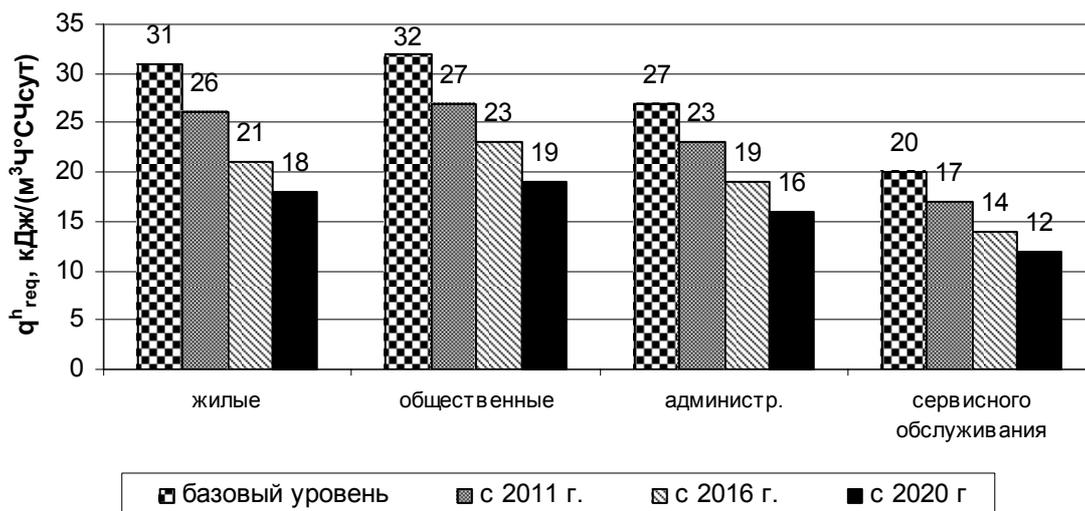


Рис. 3. Гистограмма нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию q_n^{red} [кДж/(м³·°C·сут)], для отдельных видов зданий (5 этажей) на период с 2010 г. (базового) по 2020 г. (по данным приказа Минрегионразвития от 28 мая 2010 года № 262)

Таким образом, в России, как и в Европе, наблюдается значительное увеличение требований по снижению потребления ТЭР на энергообеспечение зданий, причем законодательные органы ЕС устанавливают коэффициент сопротивления теплопередаче окон к 2020 году на уровне 1,67–2,0 м²·°C/Вт, а российские органы власти – к 2016 году на уровне 1,0–1,05 м²·°C/Вт.

Разработка и испытание энергосберегающих окон с теплоотражающими экранами. Современная индустрия производства окон предлагает различные энергосберегающие технологии [3–5], использование которых направлено на повышение герметичности окон за счет увеличения слоев остекления, заполнения стеклопакетов малотеплопроводными газами, использования теплоотражающих покрытий на стеклах, дополнительного вакуумирования с использованием стеклянных стержней и шаров, электрохромного остекления, заполнения аэрогелем и т.д. Но, к сожалению, данные конструкции имеют ряд существенных недостатков [3, 5].

Сотрудниками ИГЭУ были разработаны, испытаны и запатентованы энергосберегающие окна с теплоотражающими экранами рулонного, жалюзийного и панельного вида. Применение экранов целесообразно в темное время суток или в отсутствии людей. Была доказана актуальность и энергетическая эффективность применения данных видов конструкций, проведено математическое моделирование процесса теплопередачи [3, 6]. Также было выявлено, что в жалюзи с эмалированными ламелями, предлагаемыми отечественными и зарубежными производителями, за счет нанесения лакокрасочного покрытия значительно снижен энергосберегающий потенциал теплоотражающей конст-

рукции. Так, в ходе испытания эмалированного образца жалюзи было получено увеличение сопротивления теплопередаче окна лишь на 12 %, а при испытании очищенных от краски жалюзи – на 37 %. Процесс отражения происходит в поверхностном слое экрана.

В ходе дальнейших исследований для создания промышленного образца было изучено влияние на эффективность работы экранов:

- стекла с низкоэмиссионным покрытием;
- фольги в направляющих каналах и на удалении от стекла.

Низкоэмиссионные покрытия делят на твердые и мягкие (К-покрытие и i(I)-покрытие). Твердое (К-покрытие) в виде слоя оксида металла толщиной 0,4–0,6 мкм наносится посредством химической реакции при высокой температуре (метод пиролиза) в процессе изготовления стекла, а мягкое (i-покрытие) – толщиной 0,08–0,12 мкм с основным слоем серебра в вакууме на уже готовое стекло.

Испытания проводились в сертифицированной климатической камере АНО «Ивановской испытательной лаборатории» (рис. 4) согласно методике, указанной в ГОСТ 26602.1-99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче»⁵.

⁵ ГОСТ 26602.1-99. «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче». – Введ. 1 января 2000 г. – М.: ГУП ЦПП, 2012. – 32 с.



Рис. 4. Установка датчиков на испытываемый образец в климатической камере

В данную методику нами были внесены необходимые изменения, связанные со спецификой расположения теплоотражающих экранов относительно слоев остекления. Данные изменения касались схемы расположения измерительных датчиков, проведения дополнительных этапов испытаний и методов определения сопротивления теплопередаче окна с теплоотражающими экранами. В методику испытаний была введена новая величина – «среднее за отопительный период приведенное сопротивление теплопередаче окна» $\bar{R}_0^{\text{пр. от. пер.}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ [3].

В качестве контроля 1 испытывался оконный блок с двухкамерным стеклопакетом 4М1х10х4М1х10х4М1 размера 1,25 х 1,50 м, а в качестве контроля 2 – со стеклопакетом с низкоэмиссионным покрытием 4М1х10х4М1х10х4И. Экраны устанавливали в

пластиковом канале (аналог «направляющей»), вплотную к профилю, а также на удалении 80 мм от стекла. Также испытывался двойной панельный теплоотражающий экран, расположенный со стороны холодного отделения камеры и армированный малотеплопроводными дистанционными планками (рис. 5).

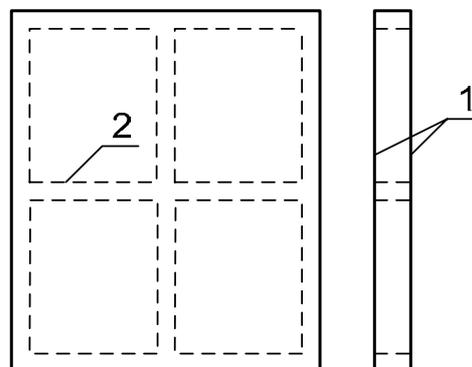


Рис. 5. Схема расположения панелей в двойном панельном теплоотражающем экране: 1 – алюминиевая фольга; 2 – дистанционные планки

Параллельно с определением тепло-технических характеристик окна с помощью сертифицированной измерительной системы производилась тепловизионная съемка образцов тепловизором Testo 882. При испытании в теплом отделении камеры поддерживалась температура в 20 °С, в холодном – минус 15 °С, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 26602.1-99 к допустимой разности температур в 30 °С. Испытание экранов производилось на окнах с низкоэмиссионным покрытием.

Таблица 4. Данные испытаний теплоотражающих экранов в окнах с низкоэмиссионным покрытием

Вариант	Тепловой поток q , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Температура на внутреннем стекле t_w , °С	Приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной части R , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$R/R_{\text{контроль1}}$	$R/R_{\text{контроль2}}$	Годовые теплопотери $Q_{\text{год}}$, $\text{Гкал}/\text{м}^2$
Контроль 1 4М1х10х4М1х10х4М1	76,1	12,5	0,47	–	–	0,289
Контроль 2 4М1х10х4М1х10х4И (с покрытием)	58,9	14,15	0,61	1,29	–	0,223
Экран в теплом отделении	36,13	2,94	0,98	2,09	1,61	0,154
Экран в холодном отделении: в канале	33,31	17,12	1,10	2,34	1,81	0,140
Экран в холодном отделении: $S = 80$ мм	32,41	16,97	1,108	2,36	1,82	0,139
Экран в холодном отделении: вплотную	31,36	16,9	1,134	2,41	1,87	0,137
Экран в холодном и теплом отделениях	16,42	11,66	1,45	3,09	2,39	0,140
2 экрана с холодной стороны	20,77	18,65	1,757	3,74	2,89	0,095

Анализ полученных данных (табл. 4, рис. 6) показывает, что применение И-стекла дало увеличение сопротивления теплопередаче светопрозрачной части с $0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ до $0,61 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (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 $1,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (на 274 % к контролю 1 или на 189 % к контролю 2). Следует отметить, что применение теплоотражающих прозрачных покрытий на стеклах (И-стекло, К-стекло) не в большей мере снижает лучистый теплообмен, как это заявляется производителями окон. Наибольший эффект дает использование непрозрачных металлических экранов, в то же время совместная работа покрытия и экрана усиливает энергосберегающий эффект. Размещение экрана в направляющем канале незначительно снизило сопротивление теплопередаче (на $0,034 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, или 3,1 %). Также незначительный отрицательный эффект (на $0,026 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, или 2,3 %) был получен при удалении экрана на расстояние 80 мм от остекления.

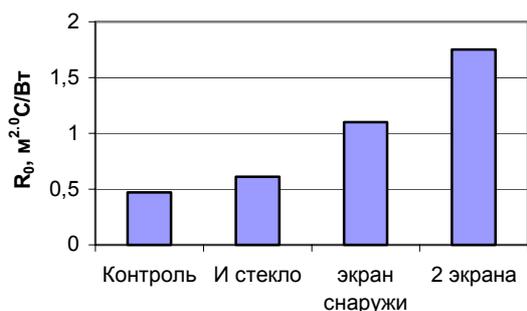


Рис. 6. Зависимость приведенного сопротивления светопрозрачной части окна R_0 от вида конструкции

Влияние применения теплоотражающих экранов в окнах на системы энергоснабжения промышленных предприятий. Как известно, к энергоснабжающим сетям промышленных предприятий присоединены здания различного типа: производственные, административные, общественные и т.д.

Применение экранов в окнах имеет высокий энергосберегающий потенциал для систем энергоснабжения зданий. Так, при установке одного металлического экрана для условий отопительного периода (г. Иваново), 5-дневной рабочей недели годовые тепловые потери (табл. 4, рис. 7) снизятся с $0,223$ до $0,140 \text{ Гкал}/\text{м}^2$ (или на 37 %), при установке 2 экранов – до $0,095 \text{ Гкал}/\text{м}^2$ (или на 57 %).

Было установлено снижение нагрузки на системы теплоснабжения зданий за счет уменьшения трансмиссионных тепловых потерь через окна при использовании теплоотражающих экранов для предприятий г. Иваново, в том числе для ОАО «МК КРАНЭКС» и Ивановского ЛПУ МГ ОАО «Газпром». Например, при использовании панели с двумя теплоотражающими экранами в

окнах административного здания газоперекачивающей станции (площадь остекления $322,4 \text{ м}^2$) расчетные теплотери через светопрозрачные конструкции снизятся с $32,7$ до $10,5 \text{ кВт}$ (или на 68 %), а годовые трансмиссионные теплотери уменьшатся с 282 ($67,3 \text{ Гкал}/\text{год}$) до $111 \text{ ГДж}/\text{год}$ ($26,5 \text{ Гкал}/\text{год}$) (или на 61 %), причем годовая экономия составит $40,8 \text{ Гкал}/\text{год}$.

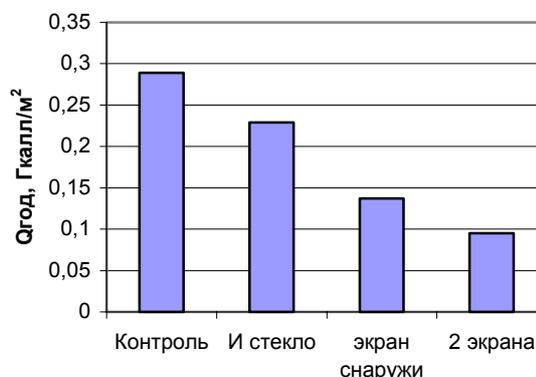


Рис. 7. Зависимость годовых теплотерь через окно (в расчете на 1 м^2) от вида конструкции

Действующие нормы СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»⁶ позволяют в холодный период года в помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются и в нерабочее время, 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 большой степени минимальная температура воздуха при применении дежурного режима отопления определяется исходя из условий недопущения образования конденсата на ограждающих поверхностях. В силу большой вероятности выпадения конденсата на окнах, именно светопрозрачные конструкции являются «слабым местом» в теплозащите зданий.

У непрозрачных конструкций (стен) величина сопротивления теплопередаче значительно выше. Стоит отметить, что появление влаги на стеклах является не только эстетическим дефектом – постоянное выпадение конденсата в дальнейшем 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. 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.

⁶ Свод правил СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2012.

Относительная влажность воздуха в помещении является нормируемой величиной (для общественно-административных и жилых помещений – от 30 до 65 %). И именно от влажности воздуха, сопротивления теплопередаче окна, температуры наружного воздуха 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. 4), при применении в окнах теплоотражающих экранов, установленных снаружи, сопротивление теплопередачи увеличивается до $1,76 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и значительно повышается температура на внутреннем стекле, следовательно, возможно дополнительно понизить температуру воздуха внутри помещения (в зависимости от влажности внутри помещения) (рис. 8). На рис. 8 температура 4 °C на поверхности стекла соответствует температуре точки росы для воздуха внутри помещения, с нормируемыми параметрами рабочей зоны для холодного периода года ($t = 20 \text{ °C}$, $\phi = 30 \%$). Таким образом, при использовании двух экранов снаружи можно дополнительно понизить температуру воздуха в помещении при дежурном отоплении с $12,6$ до $6,6 \text{ °C}$ и снизить нагрузку на систему теплоснабжения зданий.

Изменение температуры воды в подающем трубопроводе системы отопления зданий потребителя (при качественном регулировании) при дежурном отоплении возможно с помощью трехходовых клапанов, теплообменников, а также разработанного и запатентованного авторами способа на основе гидравлического разделителя («бутылка») с регулируемым оборотом.

В летнее время года, особенно в южных регионах с большим поступлением солнечной энергии в здания, в окнах южной и восточной ориентации рекомендуется устанавливать теплоотражающие экраны жалюзийного вида, а также панельные теплоотражающие экраны, поднимающиеся вверх под углом в 90 градусов (ставни), образуя над окном солнцезащитный козырек. Данное мероприятие позволит значительно снизить инсоляционную составляющую в теплопоступлении в здание и уменьшить нагрузку на системы кондиционирования помещений.

Таким образом, при применении окон с теплоотражающими экранами наблюдается тройной энергетический эффект: в отопительный период уменьшаются теплопотери за счет увеличения сопротивления окна; снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счет понижения температуры воздуха внутри помещения, в летний период снижается холодильная нагрузка на системы кондиционирования воздуха.

Автоматизация оконного блока. Автоматизация оконного блока заключается в установке электропривода, перемещающего теплоотражающий экран, и системы управления им. Автоматизация оконных блоков 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.

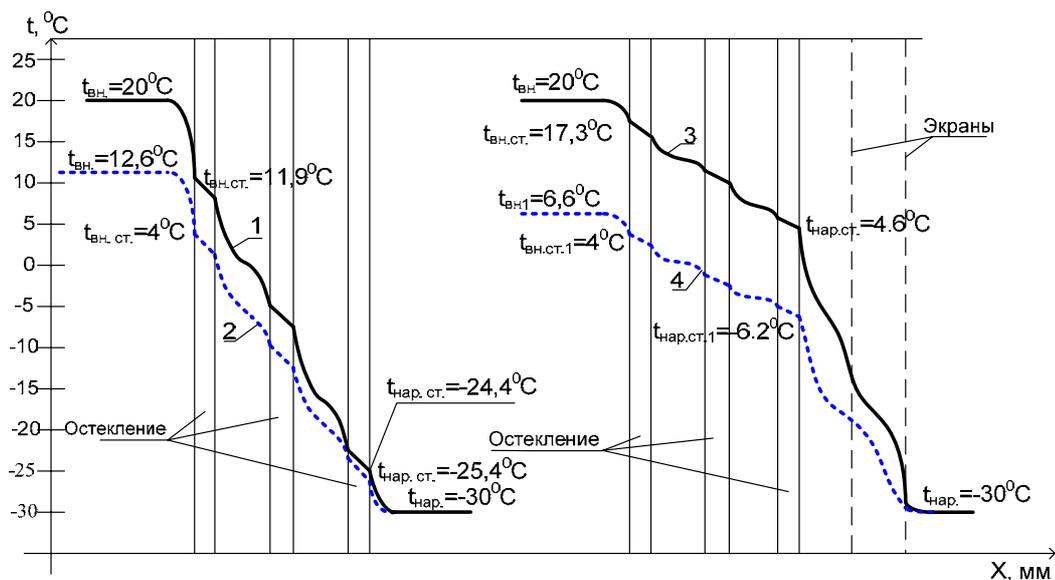


Рис. 8. Температурное поле в центральной части окна: 1 – расчетный режим отопления (контроль); 2 – дежурный режим отопления (контроль); 3 – расчетный режим отопления (с экранами); 4 – дежурный режим отопления (с экранами)

Оконный блок с опущенным экраном имеет значительно большее сопротивление теплопередаче, чем оконный блок без экрана. Закрывать световой проем экраном предпочтительно в темное время суток или во время отсутствия людей.

Предлагаем два принципа управления теплоотражающими экранами:

- 1) по заданному графику;
- 2) 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. 9 показаны функциональные схемы вариантов систем управления теплоотражающим экраном, реализующие принцип управления по заданному графику.

В схемах рис. 9,а,б основным элементом системы управления является микропроцессорный контроллер, а в схеме рис. 9,в – автоматический выключатель с таймером.

В схемах рис. 9,а,б экран поднимается, только если в помещении находятся люди и в соответствии с графиком, заданным в контроллере, экран должен быть поднят в данное время суток.

В схеме рис. 9,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.

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 показателя количества присутствующих людей в помещении в ручном режиме.

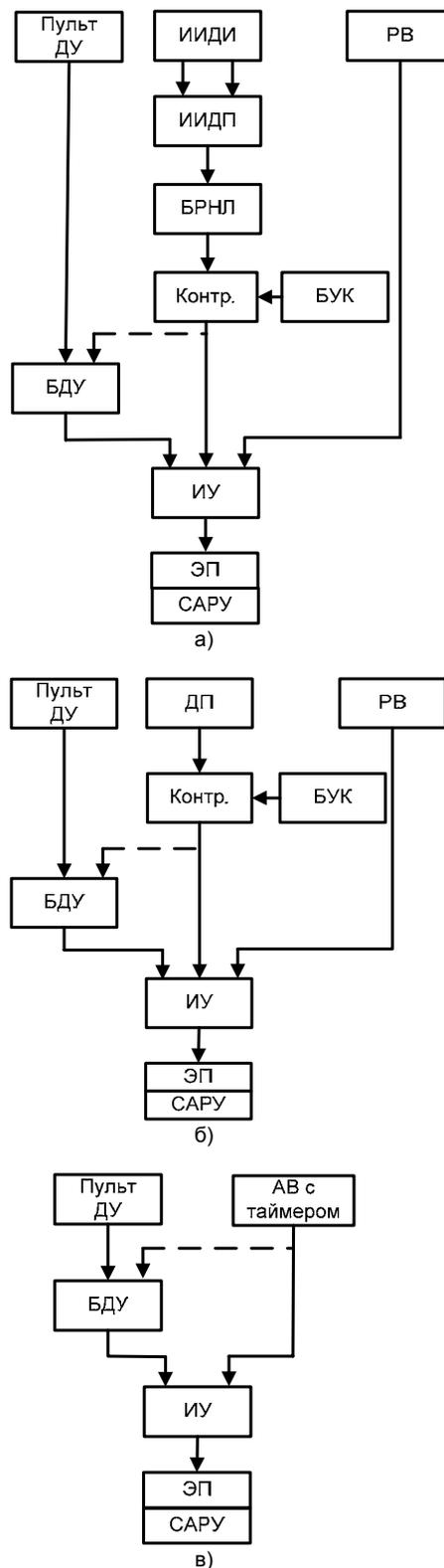


Рис. 9. Функциональные схемы систем управления электроприводом теплоотражающего экрана по заданному графику: ИИДИ – инфракрасные импульсные датчики-излучатели; ИИДП – инфракрасные импульсные датчики-приемники; БРНЛ – блок распознавания наличия людей в помещении; БУК – блок управления микропроцессорным 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

В схеме рис. 9,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 движется. 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 задаются алгоритмы обработки входных сигналов и выдачи управляющего воздействия, графики 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 разделения контуров управления.

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

В схеме рис. 9,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. 10 показана электрическая схема реализации функциональной схемы рис. 9,в 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.

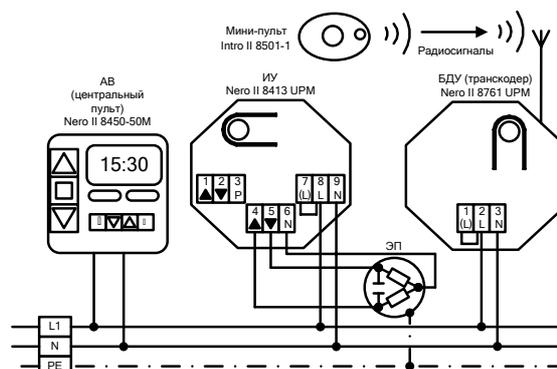


Рис. 10. Электрическая схема реализации системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по заданному графику

На рис. 11 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 фотозлемент.

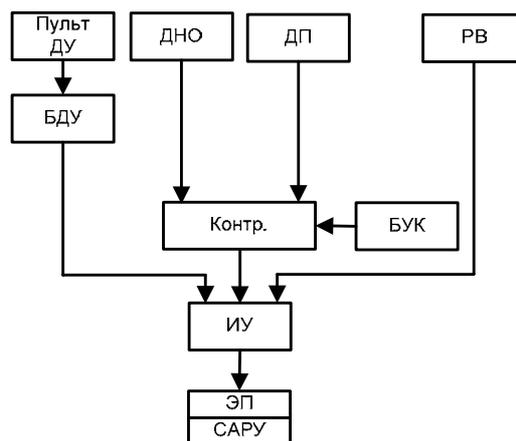


Рис. 11. Функциональная схема системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по сигналу от датчика внешней освещенности

На рис. 12 показана схема реализации системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по сигналу от датчика внешней освещенности на основе шинной технологии (оборудование ABB i-bus KNX).

Аналогичные структурные схемы могут быть собраны на основе оборудования Clipsal, Gira, Siemens GAMMA instabus и др.

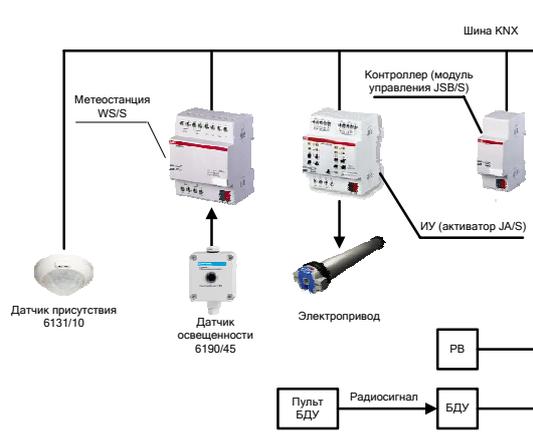


Рис. 12. Схема реализации системы управления электроприводом теплоотражающего экрана по сигналу от датчика внешней освещенности

Управление группой электроприводов теплоотражающих экранов. На рис. 13 показана функциональная схема системы управления группой электроприводов теплоотражающих экранов, находящейся 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.

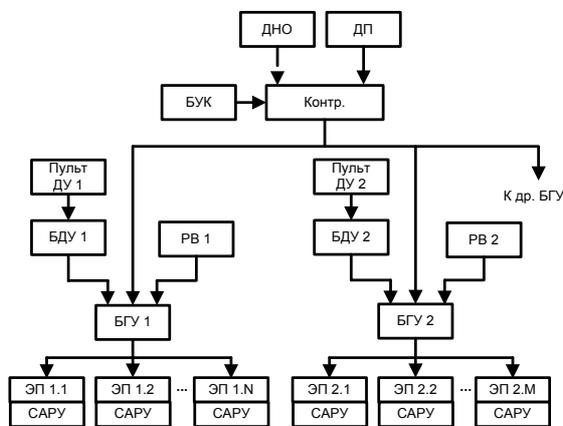


Рис. 13. Функциональная схема системы управления группой электроприводов теплоотражающих экранов, находящихся в одном помещении (БГУ – блок группового управления)

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. 9, 11 (для каждого офиса), при условии, что для офисов, находящихся на одной стороне здания, использовать один датчик внешней освещенности, сигнал от которого подавать на соответствующие контроллеры.

На данные разработки по автоматизации оконных блоков с экранами была подана заявка на патент [7] и получено положительное решение. Вышеуказанные схемы автоматизации возможно применять при использовании теплоотражающих экранов не только в производственных, жилых и общественно-административных зданиях, но и в теплицах [8].

Заключение

Таким образом, теплотехнические показатели разработанных и испытанных автоматизированных энергосберегающих окон с теплоотражающими экранами отвечают действующим европейским и российским требованиям в области энергосбережения. Полученное значительное снижение нагрузки в системах энергообеспечения зданий при применении экранов позволит сократить затраты на ТЭР. Более высокие показатели сопротивления теплопередаче ($R > 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) могут быть получены при использовании экранов совместно с новыми энергоэффективными стеклопакетами (например, с формулой К4-Кг16-К4-Кг16-К4), но для этого необходимы дальнейшие исследования, которые планируется провести в создаваемой в ИГЭУ климатической камере нового поколения.

Список литературы

1. Сеппанен О. Требования к энергоэффективности зданий в странах ЕС // Энергосбережение. – 2010. – Вып. 7. – С. 14–17.
2. 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.
3. Захаров В.М., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А. Снижение энергозатрат путем применения теплоотражающих экранов в окнах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – Вып. 1 (166). – С. 54–60.
4. Carmody J., Selkowitz S., Heschong L. Residential windows: a guide to new technologies and energy performance. – New York, 2000.
5. Табунщиков Ю.А. Окно как интеллектуальный элемент конструкции здания // Энергосбережение. – 2008. – Вып. 2. – С. 16–21.
6. Свидетельство на полезную модель Российской Федерации 16011 от 07.03.2000 г. Оконный блок / В.М. Захаров, В.М. Яблоков, Н.М. Ладаев. – М., 2000.
7. Патент на полезную модель «Автоматизированный оконный блок» / В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, А.А. Яблоков, Д.А. Лапатеев. Заявка №2013130095/17 (044838), приоритет от 01.07.2013 г.

8. **Энергосберегающий эффект** от применения теплоотражающих экранов при энергообеспечении тепличных хозяйств / В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, В.И. Ащеулов, Д.А. Лапатеев // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 2. – С. 25–29.

References

1. Seppanen, O. Trebovaniya k energoeffektivnosti zdaniy v stranakh ES [Requirements for energy efficiency of buildings in the EU]. *Energoberezhnie*, 2010, issue 7, pp. 14–17.

2. Livchak, V.I. Energeticheskaya effektivnost' zdaniy. K chemu privedet SP 50-13330-2012 «Teplovaya zashchita» i kak vypolnit' postanovlenie Pravitel'stva Rossii [Energy efficiency of buildings. What will the SP 50-13330-2012 «Thermal protection» result in and how to execute the Decree of the Government of Russia]. *Energosovet*, 2013, issue 2 (27), pp. 32–41.

3. 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-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU*, 2013, issue 1 (166), pp. 54–60.

4. Carmody, J., Selkowitz, S., Heschong, L. Residential windows: a guide to new technologies and energy performance, New York, 2000.

5. Tabunshchikov, Yu.A. Okno kak intellektual'nyy element konstruksii zdaniya [Window as an intellectual element of building construction]. *Energoberezhnie*, 2008, issue 2, pp. 16–21.

6. Zakharov, V.M., Yablokov, V.M., Ladaev, N.M. *Okonnyy blok* [Window unit]. Patent RF, no. 16011, 2000.

7. Zakharov, V.M., Smirnov, N.N., Yablokov, A.A., Lapateev, D.A. *Avtomatizirovannyi okonnyy blok* [Automated window unit]. Patent RF, no. 2013130095/17 (044838), 2013.

8. Zakharov, V.M., Smirnov, N.N., Ashcheulov, V.I., Lapateev, D.A. Energoberegayushchiy effekt ot primeneniya teplootrazhayushchikh ekranov pri energoobespechenii teplichnykh khozyaystv [Energy-saving effect of applying heat-reflecting shields in greenhouse farming power supply]. *Vestnik IGEU*, 2010, issue 2, pp. 25–29.

P.S. Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой ФЯ ИГЭУ к.ф.н. Шумаковой А.П. за профессиональную помощь в переводе материалов статьи при ее написании сотрудниками COSTIC и ИГЭУ.

Бомон Седрик (Beaumont Cedric),

Научно-технический комитет по промышленной климатологии COSTIC (Comite Scientifique et Technique des Industries Climatiques),

технический директор,

телефон (10331) 30-85-20-10,

e-mail: cbeaumont@costic.com

Хольтсвейлер Эдуард (Holtzweiler Edouard),

Научно-технический комитет по промышленной климатологии COSTIC (Comite Scientifique et Technique des Industries Climatiques),

инженер-исследователь,

телефон (10331) 30-85-20-10,

e-mail: eholtzweiler@costic.com

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

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