

УДК 621.311.001

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРЕРЫВИСТОГО РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ
И ОКОН С ТЕПЛООТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ
В ЗДАНИЯХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ДЛЯ УСЛОВИЙ РОССИИ И ФРАНЦИИ**

**ENERGY EFFICIENCY OF JOINT USING OF INTERMITTENT HEATING
AND WINDOWS WITH HEAT-REFLECTING SCREENS
IN BUILDINGS OF THE TEXTILE ENTERPRISES
TO CONDITIONS OF RUSSIA AND FRANCE**

*В.В. ТЮТИКОВ, В.М. ЗАХАРОВ, Н.Н. СМІРНОВ, Д.А. ЛАПАТЕЕВ, Б. ФЛАМАН
V.V. TYUTIKOV, V.M. ZAKHAROV, N.N. SMIRNOV, D.A. LAPATEEV, B. FLAMENT*

*(Ивановский государственный энергетический университет,
Национальный институт прикладных наук в Страсбурге)
(Ivanovo State Power Engineering University,
National Institute of Applied Sciences in Strasbourg)
E-mail: nsmirnov@pte.ispu.ru*

В статье предлагается использовать разработанные энергосберегающие конструкции окон с теплоотражающими экранами для снижения затрат на отопление помещений текстильных предприятий. Для практического использования окон с теплоотражающими экранами в зданиях текстильных предприятий необходимо определение эффективности их применения с учетом существующих энергосберегающих мероприятий, в том числе прерывистого режима отопления. Использовались результаты натурных испытаний окон с теплоотражающими экранами в сертифицированной климатической камере, а также данные о затратах топливно-энергетических ресурсов на текстильных предприятиях. Разработана методика по определению минимальной температуры воздуха внутри помещений текстильных предприятий при дежурном режиме отопления в случае использования в окнах теплоотражающих экранов. Рассчитана экономия ТЭР при применении теплоотражающих экранов для различных регионов России и Франции.

The article proposes to use energy-saving windows with heat-reflecting screens for reducing the cost of space heating in textile enterprises. For practical applying of windows with heat-reflecting screens in the buildings of the textile enterprises, the efficiency of their use together with the existing energy-saving measures, including intermittent heating, must be determined. The study was based on the re-

sults of field tests of windows with heat-reflective shields in a certified climate chamber, as well as data of the costs of fuel and energy resources in the textile factories. The method to determine the minimum indoor air temperature (in the buildings of the textile enterprises) under standby heating using heat-reflective shields in the windows was developed. The savings of energy resources using heat-reflective shields for different regions of Russia and France were calculated.

Ключевые слова: затраты топливно-энергетических ресурсов на текстильных предприятиях, окна с теплоотражающими экранами, прерывистый режим отопления, образование конденсата, относительная влажность воздуха, экономия энергоресурсов, регионы России и Франции.

Keywords: costs of fuel and energy resources in the textile enterprises, windows with heat-reflective shields, intermittent heating, condensation on windows, relative humidity, air drying, energy saving, regions of Russia and France.

В соответствии со стратегией развития легкой промышленности объемы производства продукции к 2020 г. должны вырасти в 3,1 раза к уровню 2008 г., а экспорт – в 4 раза. С ростом производства продукции без реализации соответствующих энергосберегающих мероприятий значительно вырастет и потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на предприятиях.

Экономика России является одной из наиболее энергоемких в мире. По удельному потреблению энергии (данные на 2010 г.) Российская Федерация занимала 16-е место в списке из 132 стран мира [1]. На сегодняшний момент легкая промышленность является одной из самых энергоемких отраслей, причем энергоресурсы на текстильных предприятиях, в условиях недостаточного финансирования деятельности по обновлению действующего энергетического оборудования (морально устаревшего и физически изношенного) и отсутствия инвестиций на развитие энергохозяйств текстильных предприятий, часто расходуются нерационально.

Большая энергоемкость текстильных предприятий сильно снижает конкурентоспособность выпускаемой продукции. Так, финансовые затраты на ТЭР текстильных предприятий Ивановской области составляют от 1,4 до 2,3 млрд. руб. (по данным на 2008 г.), а удельный вес расходов на ТЭР в выручке от реализации продукции

варьируется от 18 до 27%, при этом доля энергозатрат в цене продукции составляет в среднем 25% [2]. Наиболее высокими объемами энергопотребления обладает отделочное производство.

Показатели удельных расходов энергоресурсов на единицу выпускаемой продукции на текстильных предприятиях Ивановской области колеблются в довольно широких пределах. Так, удельный расход электрической энергии по 10 ведущим отделочным предприятиям, принятым к рассмотрению, изменяется от 0,07 до 1,06 кВт·ч / тыс. м² выпущенных тканей, причем средневзвешенное значение данной величины составляет 0,33 кВт·ч / тыс. м². Удельный расход тепловой энергии варьируется от 0,33 до 2,16 Гкалл / тыс. м² выпущенных тканей, а средневзвешенное значение данной величины – 1,04 Гкалл / тыс. м² [2]. Уровень энергоэффективности на производстве зависит от многих факторов: таких, как состояние и режимы работы энергетического оборудования, технологий обработки тканей, а также от разработки и реализации эффективных энергосберегающих мероприятий.

Согласно российским законам к 1 января 2020 г. годовая удельная величина расхода энергетических ресурсов в зданиях, строениях и сооружениях, в том числе и текстильных предприятий, должна уменьшиться на 40% по отношению к базовому уровню. Во Франции на основании требо-

ваний Закона Гренель (Loi Grenelle) от 03 августа 2009 г. и теплового регламента RT 2012 с 1 января 2013 г. разрешается строить только здания с низким потреблением энергии (BBC, $Q < 50$ кВт·ч/(м²·год), в зависимости от региона Франции), а с 1 января 2020 г. – только здания с "положительной энергией" (Bâtiment à énergie positive, BEPos), то есть с положительным балансом, например при производстве электроэнергии у потребителя.

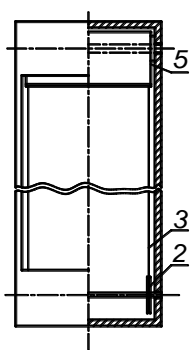


Рис. 1

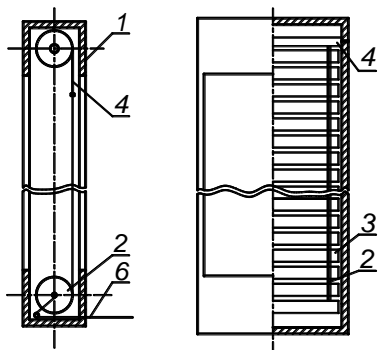


Рис. 2

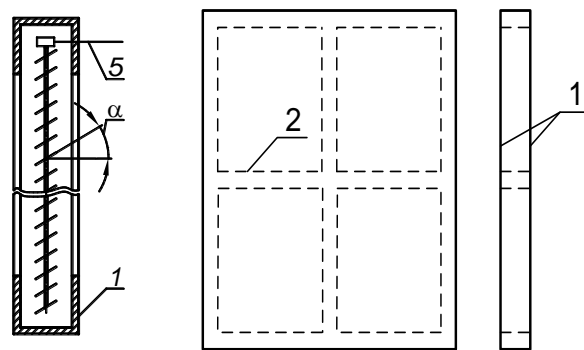


Рис. 3

Сотрудниками ИГЭУ и INSA de Strasbourg были разработаны и запатентованы конструкции окон с теплоотражающими экранами панельного, рулонного и жалюзийного типа (рис. 1...3), выполненные из металла, которые значительно снижают тепловые потери. Применение экранов целесообразно в темное время суток или в отсутствии людей.

На рис. 1 приведена конструкция оконного блока, который состоит из корпуса 1, с установленным в нем шкивом 2, который с помощью тросика 6 перемещает металлический экран 4, свернутый в рулон. Экран открывается (закрывается) по мере необходимости дистанционно, от кнопки или в автоматическом режиме от системы управления микроклиматом. Сворачивание и разворачивание экранов осуществляется с помощью системы с электроприводом.

На рис. 2 приведена конструкция оконного блока с теплоотражающими непрозрачными металлическими жалюзи, где 1 – корпус, 2 – направляющие, 3 – алюминиевый поворотный элемент, 4 – крепление, 5 – управляющий тросик, α – угол наклона

поворотных элементов жалюзи относительно горизонта.

На рис. 3 представлен панельный экран, где 1 – алюминиевый лист, 2 – дистанционные планки.

Экраны могут располагаться внутри помещения, снаружи или в межстекольном пространстве. Применение экранов не только снижает тепловые трансмиссионные потери, но и позволяет понизить температуру воздуха при дежурном режиме отопления.

В сертифицированной климатической камере АНО "Ивановостройиспытания" были проведены исследования [3] по изучению влияния применения теплоотражающих экранов в окнах на повышение сопротивления теплопередаче окон и снижения тепловых потерь. В качестве контроля использовали двухкамерный стеклопакет формулой 4M1x10x4M1x10x4M1, а также стеклопакет формулой 4M1x10x4M1x10x4И с нанесением на стекло низкоэмиссионного покрытия.

В табл. 1 приведены результаты испытаний 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	-
Экран с холодной стороны (2 слоя)	20,77	18,65	1,757	3,74	2,89

На основе полученных данных в табл. 1 установлено, что применение И-стекла (с низкоэмиссионным покрытием) 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, размещенных 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).

Отопление зданий и помещений может быть постоянным или прерывистым (периодическим). При прерывистом отоплении снижается или полностью отключается подача теплоты в здание или помещение.

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 12°С – в помещениях общественных и административно-бытовых зданий; 5°С – в "сухих" производственных помещениях. Во Франции согласно Регламентам понижение температуры допускается не ниже 16°С для общественных и административно-бытовых зданий. В понижении температуры воздуха во время дежурного режима отопления заложен большой энергосберегающий потенциал. В большой степени минимальная температура воздуха при применении дежурного режима отопления ограничена условием 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.

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.

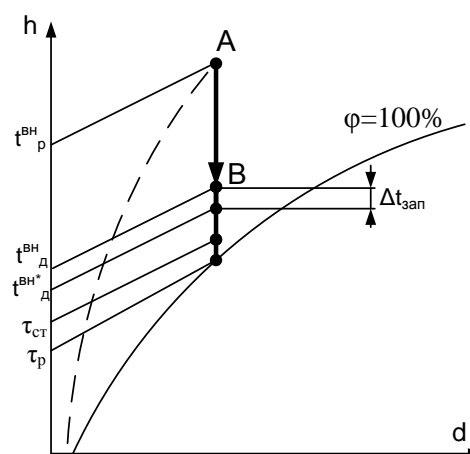


Рис. 4

Нам было интересно выяснить, каким образом можно определить значение температуры (рис. 4), 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). В ходе математических преобразований было выведено, что

минимальную температуру внутреннего воздуха при дежурном режиме отопления можно определить, как:

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

где τ_p – температура точки росы при параметрах воздуха в рабочее время, которую можно определить по формуле Магнуса-Тетенса [3], °С; $\Delta t_{зап}$ – температурный запас по недопущению конденсации (принимается в 1°С); t_n – температура наружного воздуха, °С; $R_{окна}$ – приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной зоны окна, м²·°С /Вт; $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к стеклу, принимаем 8,7 Вт /м²·°С.

Температура точки росы τ_p в большей степени зависит от влажности и температуры воздуха в рабочее время. Чем выше относительная влажность ϕ , тем выше будет температура точки росы, минимальная температура воздуха при дежурном режиме отопления и, следовательно, больше затраты на ТЭР. Высокая относительная

влажность воздуха особенно характерна для производственных помещений таких текстильных предприятий, как хлопчатобумажные ($\phi = 45...70\%$), шелковые ($\phi = 50...75\%$), шерстяные ($\phi = 60...75\%$), ковровые ($\phi = 55...75\%$) фабрики [4]. Данные высокие значения влажности в производственных помещениях текстильных предприятий поддерживаются системами кондиционирования воздуха [5].

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 в производственных и административных помещениях текстильных предприятий.

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.

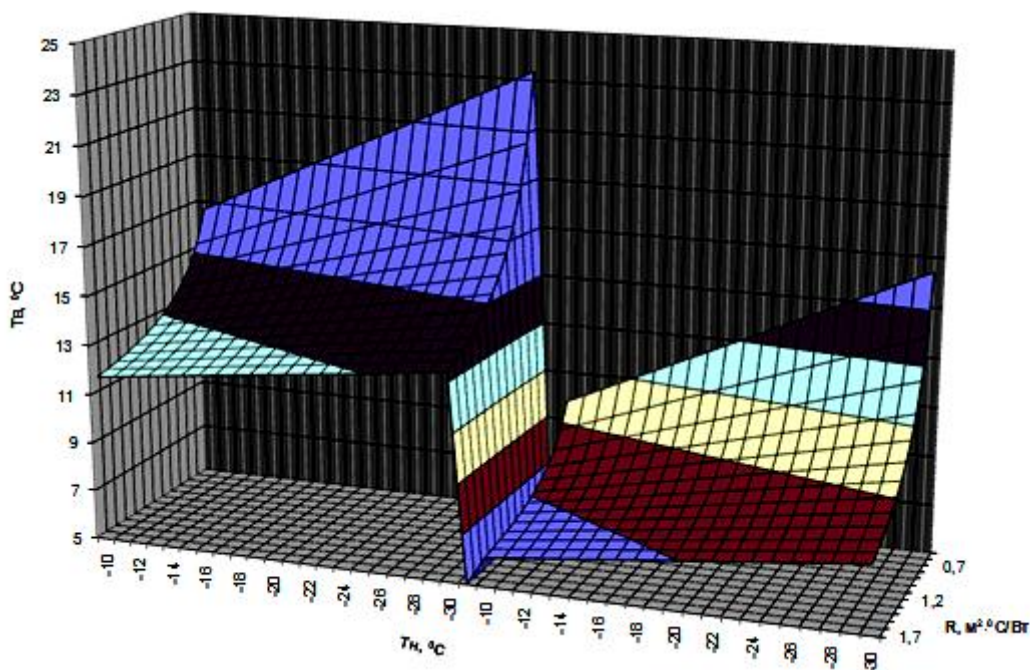


Рис. 5

Моделировалось изменение приведенного сопротивления светопрозрачной части окна R от 0,5 до полученных в результате эксперимента $1,757 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, 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%. Результаты расчетов можно увидеть на рис. 5, на котором приведена зависимость изменения минимально-допустимой температуры воздуха t_b при дежурном режиме отопления от R и t_n , причем левая половина графика построена при $\phi=50\%$, правая – при $\phi=35\%$.

Как и следовало ожидать, $t_{д}^{BH}$ будет значительно выше при более высокой влажности внутри помещения. Применение экранов также дает значительный эффект. Так, из расчетов следует, что при относительной влажности 35% (административные помещения текстильных предприятий), наружной температуре -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, то есть более чем на 8°C , а при относительной влажности 50% (производственные помещения текстильных предприятий) разница в температурах составит более 10°C . Однако стоит отметить, что при температуре наружного воздуха -30°C и повышенном сопротивлении окон с экранами минимальная температура воздуха, исходя из условия недопущения образования конденсата, при влажности в 50% составит $13,4^\circ\text{C}$, а при влажности 35% – $7,8^\circ\text{C}$ (рис. 5). При меньшей температуре воздуха в случае применения дежурного режима отопления будут и меньшие затраты тепловой энергии для поддержания параметров микроклимата в помещении. Следовательно, в случае применения дежурного режима отопления и экранов в окнах было бы целесообразно дополнительно **понижить влагосодержание** воздуха.

Получаем, что при применении окон с теплоотражающими экранами наблюдается двойной энергетический эффект: в ото-

пительный период теплопотери уменьшаются за счет увеличения сопротивления окна, также снижаются затраты теплоты на нагрев помещения за счет понижения температуры воздуха внутри помещения.

Авторами после обработки статистических данных, полученных от Росгидромета и метеослужб Франции, были определены продолжительности светового дня по месяцам для различных городов РФ.

Был проведен анализ использования экранов для городов РФ и Франции, представляющих различные климатические зоны. Расчет проводили для окна со стеклопакетом формулой $4M1x10x4M1x10x4I$ (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 55%. В нерабочее время (и темное время) суток предусматривалось применение экранов, снижение температуры воздуха при дежурном отоплении в двух вариантах – до нормируемых 12°C (16°C – для условий Франции) и до минимально-допустимой температуры воздуха при выполнении условия – недопущение образования конденсата на светопрозрачных конструкциях. В табл. 2 приведены данные по потерям теплоты за отопительный период с одного м^2 светопрозрачных конструкций для зданий текстильных предприятий, расположенных в различных климатических регионах России и Франции, Гкал , а в табл. 3 – экономия теплоты, $\text{Гкал} / \%$.

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, причем максимальную экономию ($0,227 \text{ Гкал}$) мы получили для условий города Норильска. Для южных городов России и большинства населенных пунктов Фран-

ции в случае использования предложенных энергосберегающих мероприятий годовое потребление тепловой энергии

на компенсацию трансмиссионных потерь будет минимально (от 0,022 до 0,070 Гкал/м²).

Т а б л и ц а 2

Город	Контроль Q_k	С применением дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$ и $16^{\circ}C$), $Q_{деж(12/16)}$	С применением экрана $Q_э$	С применением экрана и дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$ и $16^{\circ}C$), $Q_{деж(12/16)+э}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой $Q_{деж(min)+э}$
Норильск	0,389	0,315	0,237	0,168	0,162
Москва	0,154	0,112	0,096	0,075	0,070
Страсбург	0,111	0,088	0,057	0,049	0,036
Лион	0,099	0,076	0,052	0,044	0,032
Марсель	0,07	0,046	0,036	0,028	0,022

Т а б л и ц а 3

Город	Контроль Q_k	С применением дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$ и $16^{\circ}C$), $Q_{деж(12/16)}$	С применением экрана $Q_э$	С применением экрана и дежурного режима отопления ($t_{деж}=12^{\circ}C$ и $16^{\circ}C$), $Q_{деж(12/16)+э}$	С применением экрана и дежурного режима отопления с пониженной температурой $Q_{деж(min)+э}$
Норильск	-	0,074 / 19	0,152 / 39	0,221 / 57	0,227 / 58
Москва	-	0,042 / 27	0,058 / 38	0,079 / 51,4	0,084 / 55
Страсбург	-	0,023 / 21	0,054 / 49	0,062 / 56	0,075 / 68
Лион	-	0,023 / 23	0,047 / 47	0,055 / 56	0,067 / 68
Марсель	-	0,024 / 34	0,034 / 49	0,042 / 60	0,048 / 69

ВЫВОДЫ

В решении задачи по использованию в качестве энергосберегающих мероприятий теплоотражающих экранов в окнах, системы автоматизации прерывистого теплоснабжения здания с применением алгоритма определения минимальной температуры воздуха при дежурном режиме отопления заложен большой потенциал, который позволит значительно снизить потребление энергоресурсов на отопление, вентиляцию и кондиционирование административно-бытовых и производственных помещений текстильных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко Е.М., Белова Т.Д. Энергосервис как механизм повышения энергоэффективности в легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, № 4. С. 82...86.
2. Колибаба В.И., Кутумова Е.О., Кутумова Е.В. Выявление и экономическая оценка потенциала энергосбережения в текстильной отрасли // Вестник ИГЭУ. – 2012, № 6. С. 78...84.

3. Захаров В.М., Тютиков В.В., Смирнов Н.Н., Лапатеев Д.А., Фламан Б., Барба М. Энергосберегающий потенциал от использования теплоотражающих экранов с солнечными батареями в окнах для систем энергоснабжения зданий // Вестник ИГЭУ. – 2015, № 2. С. 5...14.

4. Сорокин Н.С. Вентиляция, отопление и кондиционирование воздуха на текстильных предприятиях. – М.: Легкая индустрия, 1974.

5. Киселев Н.В., Каравайков В.М. Распределение теплоносителя в системе воздушного отопления и вентиляции промышленного предприятия // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 3. С. 129... 132.

REFERENCES

1. Marchenko E.M., Belova T.D. Jenergoservis kak mehanizm povysheniya jenergojeffektivnosti v legkoj promyshlennosti // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, № 4. S. 82...86.
2. Kolibaba V.I., Kutumova E.O., Kutumova E.V. Vyjavlenie i jekonomicheskaja ocenka potencijala jenergosberezhenija v tekstil'noj otrasli // Vestnik IGJeU. – 2012, № 6. S. 78...84.
3. Zaharov V.M., Tjutikov V.V., Smirnov N.N., Lapateev D.A., Flaman B., Barba M. Jenergosberegajushhij potencial ot ispol'zovanija teplootrazhajushhij jekranov s solnechnymi batarejami

v oknah dlja sistem jenergosnabzhenija zdaniij // Vestnik IGJeU. – 2015, № 2. S. 5...14.

4. Sorokin N.S. Ventiljacija, otoplenie i kondicionirovanie vozduha na tekstil'nyh predpriyatijah. – M.: Legkaja industrija, 1974.

5. Kiselev N.V., Karavajkov V.M. Raspredelenie teplonositelja v sisteme vozdushnogo otoplenija i ventiljacii promyshlennogo predprijatija // Izv. vuzov.

Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2012, № 3. S. 129... 132.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики ИГЭУ. Поступила 03.02.16.
