

УДК 621.311

*В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, Д.А. Лапатеев*

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ В ОКНАХ**

Снижение энергопотребления зданий в условиях постоянного удорожания топлива — актуальная задача для экономики нашей «северной» страны с достаточно холодным климатом, особенно если учитывать наличие сильной конкуренции с иностранными производителями, имеющими сравнительно низкую энергоёмкость продукции. Энергия в жилых, общественно-административных и производственных зданиях тратится на компенсацию трансмиссионных потерь через ограждающие конструкции, подогрев воздуха в системах механической вентиляции и на инфильтрацию, подогрев воды на ГВС, искусственное освещение, технологию и т. д. [1]. В этом случае доля затрат от общего энергопотребления на трансмиссионные теплопотери и инфильтрацию в среднем по стране составляет от 10 до 60 % в зависимости от местоположения и типа зданий [2]. Здание с минимальным потреблением тепловой энергии — это здание, в котором теплопотери через оболочку сведены к экономически обоснованному минимуму.

В целях снижения нагрузок на системы вентиляции, отопления и ГВС в общественно-административных и производственных зданиях применяют новые теплоизоляционные материалы, дежурный режим отопления, рекуперацию, установку автоматических термклапанов у отопительных приборов, утилизацию теплоты вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем в системах механической вентиляции и т. п. [3].

Существенная доля тепловых трансмиссионных потерь зданий приходится на потери через оконные проемы (по разным оценкам, от 20 до 50 % от общего объема). Основным показателем, характеризующим это, является приведенная величина термического сопротивления всего оконного блока, хотя наибольшие потери приходится на его светопрозрачную часть [4].

### **Недостатки современных энергосберегающих конструкций окон**

Современные энергосберегающие конструкции окон имеют ряд существенных недостатков [2, 3 и 6]. Так, применение окон с высокой степенью герметичности вызывает кратное увеличение воздухообмена, и задачи энергосбережения не решает, а лишь изменяет ее условия, перекладывая теплопотери через неплотности в окнах на теплопотери в системе вентиляции. Конструкции окон, ориентированные на снижение конвективной составляющей и теплопроводности (многослойное остекление или заполнение стеклопакетов малотеплопроводными газами), значительно снижают уровень поступления в помещение солнечного света (в том числе полезных для здоровья человека УФ-лучей), а также имеют высокую стоимость и громоздкость.

Окна, понижающие долю тепла, передаваемого излучением, за счет использования теплоотражающих покрытий, достаточно энергоэффективны, поскольку доля тепла, передаваемого излучением, может достигать 80 %, и ее понижение заметно отразится на теплопотерях окна. Однако широкое применение покрытий с высокой теплоотражающей способностью ограничено их стоимостью, которая обусловлена сложной технологией нанесения покрытий и дорогими материалами, а также снижением коэффициента светопропускания до 50 %, вызывающим дополнительные затраты на искусственное освещение внутри помещений.

Следует особо отметить перспективные технологии энергосбережения в окнах.

Один из примеров таких технологий — вакуумированные окна [7, 8] со стеклянными стержнями или шарами внутри стеклопакетов для выдерживания атмосферного давления воздуха и динамического давления ветра, со специальными стеклянными уплотнениями. Такая

светопрозрачная конструкция имеет низкий коэффициент теплопроводности, но теплопотери по краям больше, чем у традиционных изолирующих стеклопакетов.

Окна с электрохромным остеклением [8], позволяющим плавно изменять прозрачность стекла приблизительно от 5 до 70 %, и соответствующим регулированием теплопоступлений за счет солнечной радиации несут существенную выгоду для общественных зданий с точки зрения экономии благодаря снижению расходов на освещение и на охлаждение воздуха внутри помещений. Но эта технология пока дорогостоящая.

Окна с аэрогелем [8], состоящим приблизительно на 4 % из силикона и на 96 % из воздуха, обладают высокой изоляционной способностью, но они существенно рассеивают свет и не имеют хорошей прозрачности.

#### Предлагаемые технические решения

Для повышения коэффициента сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции без увеличения затрат на искусственное освещение нами был предложен вариант применения в темное время суток теплоотражающих экранов, которые снижали бы тепловые потери от лучистого (и в меньшей степени от конвективного) теплообмена, не вызывая уменьшения значения светопрозрачности окна в светлое время суток. Теплоотражающие экраны задерживают электромагнитное излучение преимущественно в инфракрасной области.

Учитывая, что в течение отопительного периода в Центральном регионе РФ средняя продолжительность светового дня составляет около 8 часов, то остальные 16 часов оконные проемы

могут быть закрыты теплоотражающими экранами. Для обоснования данного предложения в табл. 1 приведены значения среднемесячной длительности светового дня, отнесенной к длительности суток, в разных городах РФ для некоторых месяцев отопительного периода.

Было исследовано несколько конструкций энергосберегающих оконных блоков с применением теплоотражающих экранов [4, 5]. Отправной точкой исследования послужила конструкция блока, предложенная сотрудниками ИГЭУ еще в 2000 году [9]. Для удобства обслуживания в нее были внесены некоторые конструктивные изменения. 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.

Для управления процессом теплообмена через окно и повышения его термического сопротивления между слоями остекления устанавливались жалюзи с горизонтальными поворотными элементами, выполненными из алюминия (рис. 2). Проводились экспериментальные исследования зависимости термического сопротивления окна вышеуказанной конструкции от угла  $\alpha$  наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи.

Исследования проводились в лаборатории АНО «Ивановской испытательной» в сертифика-

Таблица 1

Среднемесячная длительность светового дня в различных городах РФ, %

Город	Среднемесячная относительная длительность светового дня, %		
	Ноябрь	Январь	Март
Краснодар	39,7	36,4	49,9
Москва	34	32	49
Иваново	33,3	30,7	49,1
Санкт-Петербург	30,9	25,8	49,5
Мурманск	23	6	52

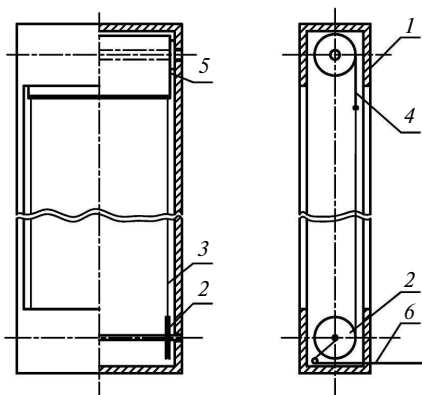


Рис. 1. Конструкция оконного блока с теплоотражающим непрозрачным металлическим сплошным экраном:  
1 — корпус; 2 — шкиф; 3 — направляющая; 4 — теплоотражающий экран; 5 — пружина; 6 — управляющий тросик

рованной климатической камере [4], которая состоит из двух отделений (холодного и тепло-го), соединенных смежной теплоизолированной перегородкой с проемом для установки испытуемого изделия. В холодном отделении можно поддерживать температуру воздуха до минус 25 °С, а в теплом — до плюс 30 °С. Моделирование условий окружающей среды происходит в холодном отделении благодаря рециркуляции воздуха вдоль поверхности испытуемого образца, чем обеспечивается теплообмен с интенсивно-

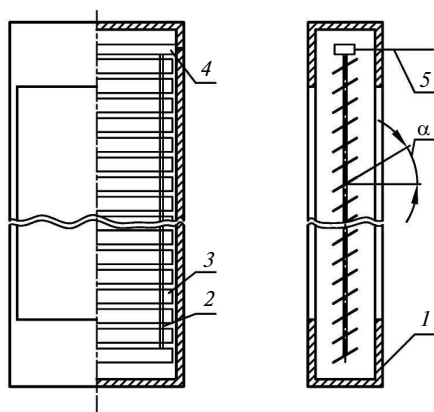


Рис. 2. Конструкция оконного блока с теплоотражающими непрозрачным металлическими жалюзи:

1 — корпус; 2 — направляющие; 3 — алюминиевый поворотный элемент; 4 — крепление; 5 — управляющий тросик;  $\alpha$  — угол наклона поворотных элементов жалюзи относительно горизонта

стью теплоотдачи 20–25 Вт/м<sup>2</sup>·С, а в теплом отделении теплообмен обеспечивается естественной циркуляцией воздуха и излучением от ограждений климатической камеры. Температуры воздушной среды, поверхностей теплообмена (стекла, деревянная оболочка окна) измерялись с помощью хромель-копелевых термопар, а тепловые потоки — с помощью накладных тепломеров. Эти датчики подключены к 96-канальному измерителю теплопроводности ИТ-2–96, причем полученная информация сразу же обрабатывается и передается на ЭВМ.

В качестве базовой конструкции (контроль 1) использовался оконный блок (размеры 1000×1000×140 мм) с одним остеклением 4М1, а также с отдельными переплетами (контроль 2), состоящий из ОСП 4М1–10–4М1 и стекла 4М1 (площадь светопрозрачной части — 0,672 м<sup>2</sup>, площадь всего окна — 1 м<sup>2</sup>).

#### Результаты экспериментальных исследований

Выход системы на стационарный режим теплопередачи при изменении условий (поднятие — опускание экрана, изменение угла наклона поворотных элементов жалюзи и т. д.) достигался в течение 10–15 минут в зависимости от тепловой инертности конструкции.

Опыты (табл. 2) с использованием алюминиевой фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана, установленного между стеклами окна, показали увеличение приведенного сопротивления теплопередаче на 26 % по сравнению с базовым вариантом (контроль 2); в то же время увеличение термического сопротивления светопрозрачной зоны окна составило 48 %. Применение такой непрозрачной конструкции целесообразно в темное время суток, доминирующее в течение отопительного периода практически на всей территории России.

Следовательно, временным введением дополнительной конструкции в окно мы регулировали его термическое сопротивление.

Следует отметить, что благодаря применению экранов повысилась температура на внутренней поверхности остекления оконного блока (рис. 3), что немаловажно, так как в нижней части остекления располагается наиболее опасная зона для выпадения конденсата, инея и образования наледей, особенно при наличии высокой влажности внутри помещения.

Таблица 2

**Значения приведенного термического сопротивления  
в зависимости от вида конструкции оконного блока [9,10 и 11]\***

Описание конструкции окна (материал и расположение экрана)	Приведенное термическое сопротивление теплопередаче светопрозрачной части $R_0^{пр}$ , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт / \%$	Среднесуточное приведенное термическое сопротивление теплопередаче, $R_0^{пр.сут}$ , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт / \%$	Тепловые потери оконного блока площадью $1 m^2$ за отопит. период, $Q_{год}$ , Гкал	Снижение тепл. потерь (экономия) за отоп. период, %
Контроль 1	0,348 / 100	0,452 / 100	0,289	—
Контроль 2	0,568 / 100	0,606 / 100	0,191	—
Внутри — метал. экран (контроль 1)	0,537 / 149	0,573 / 127	0,201	30
Между стеклом и стеклом — метал. экран (контроль 2)	0,841 / 148	0,768 / 126	0,155	19
Между стеклом и стеклом — метал. жалюзи ( $\alpha = 90^\circ$ ) (контроль 2)	0,813 / 143	0,753 / 124	0,157	17,8
Между стеклом и стеклом — метал. экран + метал. экран внутри (контроль 2)	1,197 / 211	0,942 / 155	0,128	33
Экран снаружи, внутри и между слоями остекления (контроль 2)	1,323 / 233	0,996 / 164	0,122	36

\* Рассчитано для условий отопительного периода Ивановской области

По поводу установки металлического жалюзи следует отметить тот факт, что максимальное приведенное термическое сопротивление  $R_{пр}^0 = 0,813 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$  было получено при  $\alpha = +90^\circ$ , когда жалюзи полностью перекрывали световой проем (рис. 4).

При этом воздушная прослойка межстекольного пространства разделялась на две, снижая конвективную составляющую теплообмена [2]. Образовавшийся теплоотражающий экран снизил лучистую составляющую, поскольку каждый поворотный элемент выполнен из алюминия с высокой теплоотражающей способностью.

В рамках работы было решено также исследовать энергетическую эффективность жалюзи, представленных на современном рынке данного вида продукции. В предприятии розничной торговли были закуплены эмалированные жалюзи. С одного из опытных образцов химическим и механическим путями было удалено лакокрасочное покрытие. В ходе испытания эмалированного образца (табл. 3), проводившегося при  $\alpha = +90^\circ$  (угол поворота жалюзи в за-

крытом состоянии), мы получили увеличение сопротивления теплопередаче окна лишь на 12 %, при установке с внутренней стороны окна, а при испытании очищенных жалюзи, установленных также с внутренней стороны окна, — 37 %. Данный факт объясняется высокой степенью черноты краски, значение которой лежит в пределах 0,91–0,93, что в несколько раз превышает степень черноты алюминия, изменяющейся в пределах от 0,04 (полированный металл) до 0,2 (окисленный металл).

Следовательно, в жалюзи с эмалированными ламелями, предлагаемыми отечественными и импортными производителями, за счет нанесения лакокрасочного покрытия значительно занижен энергосберегающий потенциал данной теплоотражающей конструкции.

На основе проведенных исследований также было выполнено математическое моделирование на базе программы PHOENICS VR. В режиме работы программы «Pre-processor» была создана 3D-модель оконного блока. В качестве испытуемого окна было принято двойное остекление.

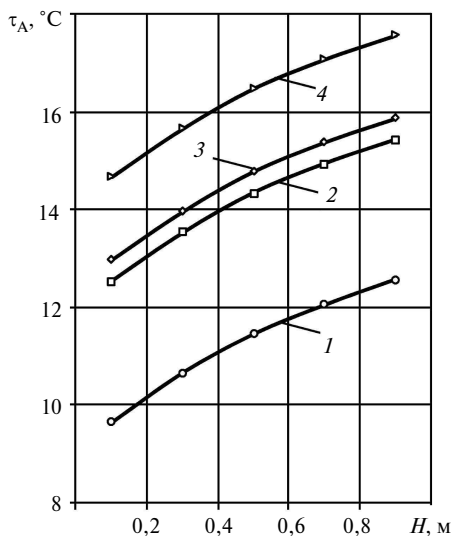


Рис. 3. Изменение температуры на внутренней поверхности остекления средней зоны окна по высоте светопрозрачной части в зависимости от конструкции оконного блока:

1 — без экрана (контроль 2); 2 — экран установлен снаружи (контроль 2); 3 — экран установлен между ОСП и стеклом (контроль 2); 4 — то же плюс экран снаружи (контроль 2); Температура воздуха в «теплом» отделении камеры  $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$ , в холодном —  $t_{\text{н}} = -20^\circ\text{C}$

Были смоделированы различные варианты применения металлических экранов, такие, как установка экрана с внутренней стороны (в «теплой» зоне), с наружной стороны (в «холодной»

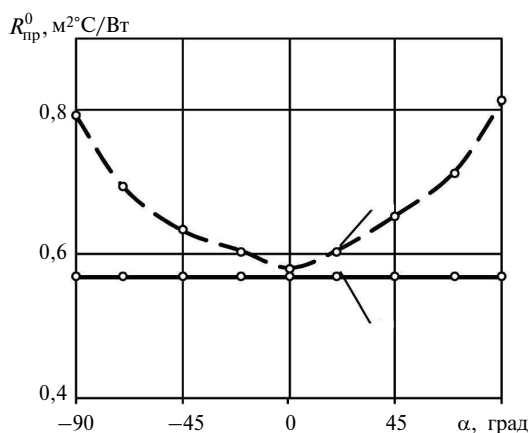


Рис. 4. Зависимость приведенного термического сопротивления окна от угла наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи

(1 — оконный блок без жалюзи (контроль 2); 2 — оконный блок с жалюзи)

зоне), совместное применение экранов, установка экрана между двумя стеклами. Были заданы соответствующие модели турбулентности и скорости воздушных потоков (в «холодной» зоне), обеспечивающие нормируемые значения коэффициентов теплоотдачи от воздуха к стеклу, включен режим расчета сложного теплообмена с излучением, заданы температуры не только воздушных сред, но и окружающих поверхностей.

В ходе численного моделирования были определены поля температур, а также — тепловые потоки.

В результате моделирования было получено хорошее соответствие экспериментальных данных и результатов компьютерного моделирования (расхождение от 3 до 15 % в зависимости от варианта конструкции), причем, как и при проведении натурного опыта, наибольшую эффективность удалось достичь при применении трех металлических экранов.

При проведении технико-экономических расчетов для условий отопительного периода для Ивановской области был определен срок окупаемости мероприятия по установке металлических экранов, который составил 3,9 года (один экран). Для определения экономии тепловой энергии за счет применения теплоотражающих экранов была введена новая величина — «среднее за отопительный период приведенное сопротивление теплопередаче окна»  $\bar{R}_{0\text{пр от пер}}$ ,  $\text{m}^2\text{C}/\text{Вт}$ :

$$\bar{R}_{0\text{пр от пер}} = \frac{R_1 n_1 + \sum_{i=2}^k R_i n_i}{n_{\text{от пер}}},$$

где  $R_1$  — приведенное сопротивление теплопередаче окна без экранов (базовый вариант),  $\text{m}^2\text{C}/\text{Вт}$ ;  $n_1$  — время за отопительный период без использования экранов, час;  $R_i, n_i$  — соответственно приведенное сопротивление теплопередаче,  $\text{m}^2\text{C}/\text{В}$ , и время использования различных вариантов расположения экранов, час, (в том числе и при разном угле поворота ламелей  $\alpha$ );  $k$  — число вариантов расположения экранов;  $n_{\text{от пер}}$  — продолжительность отопительного периода, час.

Значения  $n_i$  зависят от географической широты расположения здания, графика работы организации, продолжительности отопитель-

Таблица 3

## Результаты исследований эмалированных и очищенных алюминиевых жалюзи

Вид конструкции	Плотность теплового потока $q$ , Вт/м <sup>2</sup>	Приведенное термическое сопротивление, $R$ , м <sup>2</sup> °С/Вт	Увеличение приведенного термического сопротивления, %
Контрольный вариант (Стеклопакет 4М1–10–4М1–10–4М1)	74,285	0,49	–
Эмалированные жалюзи	66,80	0,55	12
Очищенные жалюзи	54,71	0,67	37

ного периода и т. д. Аналогичная формула использована и при определении среднесуточного приведенного термического сопротивления теплопередаче окна  $R_{0\text{прсут}}$ , в м<sup>2</sup>°С/Вт.

#### Предложения по применению окон с экранами в зданиях

Для принятия решения о применении сплошного металлического экрана или металлических жалюзи в качестве энергосберегающего мероприятия необходимо руководствоваться следующими соображениями: стоимость металлических жалюзи на порядок выше стоимости сплошного экрана ввиду более сложной конструкции, но жалюзи могут плавно регулировать процесс инсоляции и светопоступления, что немаловажно для создания микроклимата в помещении в летний период. Но даже при угле  $\alpha = 0$  жалюзи заметно снижают поступление дневного света в помещение. Исходя из сказанного металлические жалюзи следует устанавливать в окнах, имеющих южную, юго-восточную и юго-западную ориентацию, а сплошные металлические экраны — на северной, северо-восточной и северо-западной сторонах здания.

Существующие центральные (или индивидуальные) системы управления на основе солнечного датчика (фотоэлемент) или программируемого таймера автоматически смогут опускать защитные тепловые экраны в нужное время суток, обеспечив снижение тепловых потерь через окна. Данное обстоятельство весьма существенно, так как на действующих промышленных предприятиях площадь оконных проемов составляет от 20 до 70 % от общей площади ограждающих конструкций.

Применение в темное или нерабочее время суток на промышленных предприятиях, помимо дежурного режима отопления и увеличенной рекуперации в системах вентиляции, еще и теплоотражающих металлических экранов, повышающих коэффициент сопротивления теплопередаче окон, приводит к уменьшению отопительной нагрузки, тем самым вызывая увеличение надежности работы системы теплоснабжения и уменьшение затрат на энергоресурсы по данной статье в диапазоне от 10 до 36 % (как видно из табл. 2) в зависимости от географической широты расположения объекта и климатических данных для региона (табл. 1). Также следует отметить, что повышение температуры на внутреннем остеклении окна за счет применения наружных экранов позволит снизить температуру дежурного режима отопления на 3–4 °С (в зависимости от влажности внутри помещения исходя из условий недопущения образования конденсата на ограждающих конструкциях), что тоже, в свою очередь, приведет к снижению затрат тепловой энергии на отопление.

В то же время, в отличие от конструкций с использованием теплоотражающих покрытий, нанесенных на стекло, окна с регулируемым сопротивлением на основе экранов не вызывают увеличения потребления электрической энергии на искусственное освещение, что особенно актуально для производственных цехов с высокими нормами освещенности рабочих мест.

В летнее время применение металлических жалюзи с солнечной стороны здания снизит поступление солнечной энергии в помещение, тем самым сократив затраты энергии в системах кондиционирования воздуха [12].

В результате проведенных исследований установлено, что положительный энергосберегающий эффект от использования теплоотражающих металлических экранов в окнах имеет место и такие конструкции могут быть рекомендованы к использованию при проек-

тировании ограждений жилых и промышленных зданий, причем предлагаемые конструкции — малозатратны и долговечны. Применение рассмотренных технологий значительно снизит нагрузки на системы энергообеспечения зданий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Савин, В.К.** Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение [Текст] / В.К. Савин. — М.: Лазурь, 2005. — 432 с.
2. **Логвиненко, В.В.** Минимизация теплопотерь образовательных учреждений путем управления процессом теплообмена окон [Текст] / В.В. Логвиненко, М.М. Титов, М.К. Лисин. — Энергоэффективность. — 2004. № 3. — С. 79–83.
3. **Табунщиков, Ю.А.** Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, В.И. Ливчак, В.Г. Гагарин, Н.В. Шилкин. — АВОК. — 2009. № 5. — С. 38–44.
4. **Захаров, В.М.** Использование окон с регулируемым сопротивлением теплопередачи в качестве энергосберегающего мероприятия для систем энергоснабжения зданий [Текст] / В.М. Захаров, А.В. Банников, Н.Н. Смирнов. — Вестник ИГЭУ. — 2004. № 4. — С. 11–13.
5. **Захаров, В.М.** Энергосберегающие конструкции окон на основе применения теплоотражающих экранов [Текст] / В.М. Захаров, Л.Б. Калинина, Н.Н. Смирнов. — Светопрозрачные конструкции. — 2008. № 5–6. — С. 42–45.
6. **Борискина, И.В.** Современные светопрозрачные конструкции гражданских зданий [Текст]: Справочник проектировщика. Том II: Оконные конструкции из ПВХ / И.В. Борискина, Н.В. Шведов, А.А. Плотников // СПб.: Изд-во НИУПЦ «Межрегиональный институт окна», 2005. — 320 с.
7. **Carmody, J.** Residential windows: a guide to new technologies and energy performance [Текст] / J. Carmody, S. Selkowitz, L. Hescong // New York, 2000.
8. **Табунщиков, Ю.А.** Окно как интеллектуальный элемент конструкции здания [Текст] / Ю.А. Табунщиков. — Энергосбережение. — 2008. № 2. — С. 16–21.
9. **Авторское свидетельство № 16011 на полезную модель.** Оконный блок / В.М. Яблоков, Н.М. Ладаев. — М., 2000. — Свидетельство от 07.03.2000 г.
10. **Патент на полезную модель № 84042.** Оконный блок / В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов. — М., 2008. — 17.12.2008.
11. **Патент на полезную модель № 95725.** Оконный блок / В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов. — М., 2010. — 24.02.2010.
12. **Пыжов, В.К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека [Текст]: Учебное пособие / В.К. Пыжов / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — Иваново, 2008. — 496 с.