

## СНИЖЕНИЕ НАГРУЗОК НА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛОТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

СМИРНОВ Н.Н., ассист.

Приведены результаты исследований по повышению термического сопротивления оконных блоков и стен зданий на основе применения теплоотражающих металлических экранов, а также влиянию данных конструкций на работу систем энергообеспечения.

*Ключевые слова:* трансмиссионные потери, конструкции оконных блоков, процесс теплопередачи, энерго-сберегающий эффект.

## LOAD REDUCTION IN BUILDING POWER SUPPLY SYSTEM WITH ENERGY-EFFICIENT CONSTRUCTIONS AND HEAT-REFLECTING SCREENS

N.N. SMIRNOV, Assistant

The author considers research results of thermal resistance increase of building windows and walls based on heat-reflecting metal screens. Influence of these constructions on power supply system operation is given.

*Key words:* transmission loss, window constructions, heat-transfer process, energy-efficient effect.

Снижение энергопотребления зданий в условиях постоянного удорожания топлива является актуальной задачей 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 систему ГВС, искусственное освещение, технологию и т. д., причем 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. Здание с минимальным потреблением тепловой энергии – это здание, в котором теплопотери через оболочку сведены к экономически обоснованному минимуму.

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

Существенное значение в доли тепловых трансмиссионных потерь зданий приходится на потери через оконные проемы (по разным оценкам, от 20 до 50 % от общего объема). Основной величиной, характеризующей этот показатель, является приведенная величина термического

сопротивления всего оконного блока, хотя наибольшие потери приходится на его светопрозрачную часть [1].

Современные энергосберегающие конструкции окон имеют ряд существенных недостатков [1]. Так, применение окон с высокой степенью герметичности вызывает увеличение кратности 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, вакуумирование 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 теплоотражающих покрытий ограничено их высокой стоимостью, обусловленной сложной технологией нанесения покрытий и дороговизной материалов, а также снижением коэффициента светопропускания до 50 %, вызывающим дополнительные затраты на искусственное освещение внутри помещений.

Для повышения коэффициента сопротивления теплопередаче окна без увеличения затрат на искусственное освещение нами был предложен вариант применения в темное время суток (или во время отсутствия людей) теплоотражающих экранов, которые снижали бы тепло-

вые потери от лучистого (и в меньшей степени от конвективного) теплообмена, не вызывая уменьшения значения светопропускаемости окна в светлое время суток.

Было исследовано несколько конструкций энергосберегающих оконных блоков с применением теплоотражающих экранов [1]. Отправной точкой исследования послужила конструкция блока, предложенная сотрудниками ИГЭУ еще в 2000 г. [2]. Для удобства обслуживания в данную конструкцию 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.

При притяжении тросика экран опускается, в результате закручивается пружина 5, при ослаблении тросика пружина раскручивается и экран поднимается, что обеспечивает возможность регулирования как светового, так и теплового потоков.

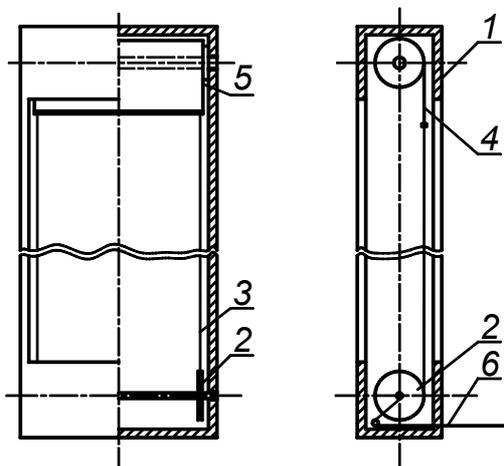


Рис. 1. Конструкция оконного блока с теплоотражающим непрозрачным металлическим сплошным экраном: 1 – корпус; 2 – шкив; 3 – направляющая; 4 – теплоотражающий экран; 5 – пружина; 6 – управляющий тросик

Для управления процессом теплообмена через окно и повышения его термического сопротивления также 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 наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи  $\alpha$ .

Исследования проводились в лаборатории кафедры ПТЭ ИГЭУ в экспериментальной климатической камере (рис. 3).

В качестве базовой конструкции (контроль) использовался деревянный оконный блок (размеры 1000x1000x140 мм) с раздельными переплетами, 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>).

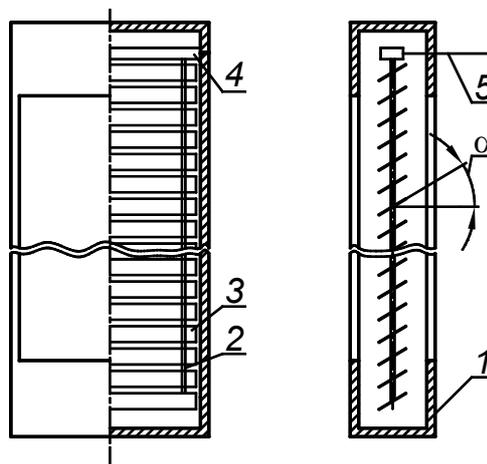


Рис. 2. Конструкция оконного блока с теплоотражающими непрозрачными металлическими жалюзи: 1 – корпус; 2 – направляющие; 3 – алюминиевый поворотный элемент; 4 – крепление; 5 – управляющий тросик;  $\alpha$  – угол наклона поворотных элементов жалюзи относительно горизонта

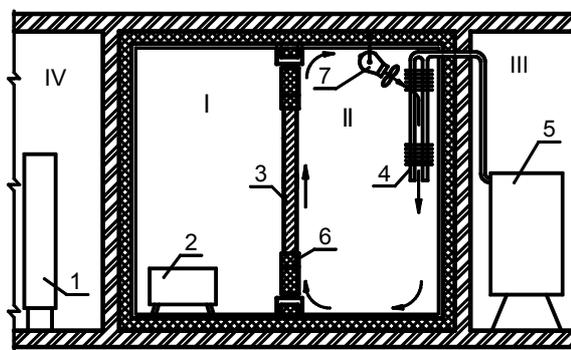


Рис. 3. Схема климатической камеры для проведения испытаний: I – «теплое» отделение камеры; II – «холодное» отделение камеры; III – машинный зал; IV – помещение с измерительной аппаратурой; 1 – система автоматического сбора данных; 2 – нагревательные приборы; 3 – испытуемый образец; 4 – испаритель; 5 – холодильная установка; 6 – теплоизоляционный слой по периметру проема; 7 – вентилятор

Нам было интересно изучить влияние применения комбинаций таких конструктивных элементов, как металлический экран, металлические жалюзи, наружная светопрозрачная рольставня, ставни на приведенное термическое сопротивление теплопередаче окна. При проведении эксперимента в качестве наружной светопрозрачной рольставни использовалась полиэтиленовая пленка толщиной 100 мкм, в качестве металлического экрана – алюминиевая фольга толщиной 70 мкм; в качестве ставни – фанера толщиной 16 мм.

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 мин.

Согласно полученным экспериментальным данным (табл. 1), использование алюминиевой фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана, установленного между стеклами окна, показали

увеличение приведенного сопротивления теплопередаче окна на 46 %, по сравнению с базовым вариантом, в то же время увеличение приведенного термического сопротивления светопрозрачной зоны окна составило 63 %. Применение такой непрозрачной конструкции целесообразно в темное время суток, которое является доминирующим в течение отопительного периода практически на всей территории России. В светлое время суток возможна установка светопрозрачной рольставни со стороны наружного воздуха, которая дает увеличение термического сопротивления на 15 % с незначительным уменьшением оптических характеристик окна.

Наилучший эффект получили при установке: снаружи – ставни; между ОСП и стеклом – двух экранов (прослойка 10 мм); внутри – экрана (сопротивление увеличилось в 2,5 раза).

Следует отметить, что благодаря применению экранов повысилась температура на

внутренней поверхности остекления оконного блока (рис. 4), 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.

Относительно установки металлического жалюзи следует отметить тот факт, что максимальное приведенное термическое сопротивление  $R_0^{np} = 0,925 \text{ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  было получено при  $\alpha = +90^\circ$ , когда жалюзи полностью перекрывали световой проем (рис. 5). При этом воздушная прослойка межстекольного пространства разделялась на две, снижая конвективную составляющую теплообмена. Образовавшийся теплоотражающий экран снизил лучистую составляющую, поскольку каждый поворотный элемент выполнен из алюминия с высокой теплоотражающей способностью.

Таблица 1. Значения приведенного термического сопротивления в зависимости от вида конструкции оконного блока

Описание конструкции окна (материал и расположение экрана)	Приведенное термическое сопротивление теплопередаче, $R_0^{np}$ , $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ / %	Среднесуточное приведенное термическое сопротивление теплопередаче, $R_0^{np, \text{сут.}}$ , $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ / %	Тепловые потери оконного блока площадью $1 \text{ м}^2$ за отопительный период, $Q_{\text{год}}$ , Гкал	Снижение тепловых потерь (экономия) за отопительный период*, %
Контроль	0,654 / -	0,654 / -	0,165	-
Снаружи светопрозрачная рольставня	0,751 / 115	0,751 / 115	0,144	13
Снаружи металлический экран	0,902 / 138	0,819 / 125	0,132	20
Между ОСП и стеклом металлический экран	0,957 / 146	0,856 / 131	0,126	24
Между ОСП и стеклом металлические жалюзи ( $\alpha = 90^\circ$ )	0,925 / 141	0,825 / 128	0,129	22
Между ОСП и стеклом металлический экран + металлический экран внутри	1,284 / 196	1,074 / 164	0,1101	39
Снаружи ставня + между ОСП и стеклом два металлических экрана + внутри металлический экран	1,608 / 246	1,29 / 197	0,084	49

\* – для условий отопительного периода Ивановской области

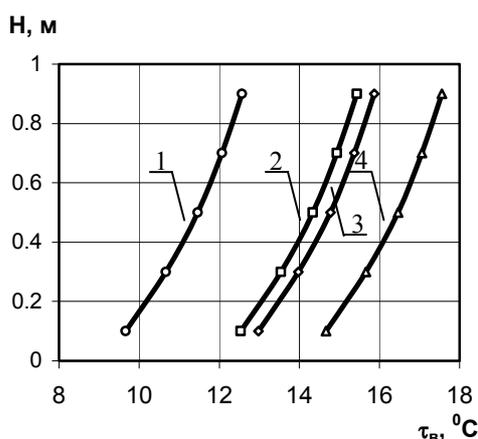


Рис. 4. Изменение температуры на внутренней поверхности остекления средней зоны окна по высоте светопрозрачной части в зависимости от конструкции оконного блока: 1 – без экрана (контроль); 2 – экран установлен снаружи; 3 – экран установлен между ОСП и стеклом; 4 – то же плюс экран снаружи. Температура воздуха в «теплом» отделении камеры  $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$ , в холодном  $t_{\text{н}} = -20^\circ\text{C}$

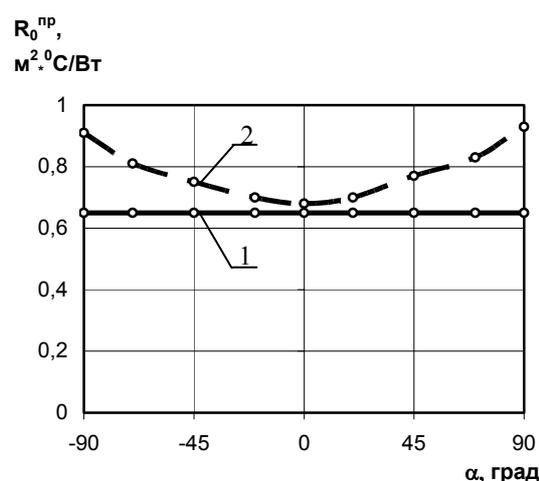


Рис. 5. Зависимость приведенного термического сопротивления окна от угла наклона к горизонту поворотных элементов жалюзи: 1 – оконный блок без жалюзи; 2 – оконный блок с жалюзи

Как известно, приведенное термическое сопротивление оконного блока  $R_0^{np}$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , определяются по формуле

$$R_0^{np} = (A_{ст} + A_p) / [(A_{ст} / R_k^{ст}) + (A_p / R_k^p)], \quad (1)$$

где  $A_{ст}$ ,  $A_p$  – площади расчетной поверхности светопропускающей и непрозрачной частей оконного блока,  $m^2$ ;  $R_k^{ст}$ ,  $R_k^p$  – приведенное термическое сопротивление светопропускающей и непрозрачной частей оконного блока.

Для испытанного оконного блока площади поверхностей светопропускающей и непрозрачной частей составляли  $A_{ст} = 0,672 m^2$ ,  $A_p = 0,328 m^2$ . Приведенное сопротивление непрозрачной части оконного блока  $R_k^p$ , равное  $1,168 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , увеличивало общее сопротивление оконного блока  $R_0^{np}$ , так как сопротивление светопропускающей части  $R_k^{ст}$  было меньше  $R_k^p$ . С применением же двух (и более) металлических экранов  $R_k^{ст}$  возросло до  $1,25 m^2 \cdot ^\circ C / Вт$  и  $R_k^p$ , исходя из формулы (1), стало уменьшать приведенное термическое сопротивление оконного блока  $R_0^{np}$ . Следовательно, возникает дилемма: или уменьшать площадь непрозрачной части  $A_p$ , или увеличивать сопротивление  $R_k^p$  за счет увеличения толщины деревянного переплета или применения материала с более низкой теплопроводностью. Но увеличение толщины деревянной обложки приведет к излишней громоздкости конструкции.

Для принятия решения о применении сплошного металлического экрана или металлических жалюзи в качестве энергосберегающего мероприятия, очевидно, следует руководствоваться следующими соображениями: стоимость металлических жалюзи на порядок выше стоимости сплошного экрана ввиду более сложной конструкции, но жалюзи могут плавню регулировать процесс инсоляции и светопоступления, что немаловажно для создания микроклимата в помещении в летний период. Но даже при угле  $\alpha = 0^\circ$  жалюзи заметно снижают поступление дневного света в помещение. Исходя из вышесказанного, 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 (фотоэлемента) или программируемого таймера автоматически смогут опускать защитные тепловые экраны в нужное время суток, обеспечив как снижение тепловых потерь через окна, так и, в случае использования армированных металлических рольставней или ставней, необходимую безопасность и сохранность находящегося внутри помещений оборудования и ценностей. Данное обстоятельство весьма существенно, так как на существующих промышленных предприятиях площадь оконных

проемов составляет от 20 до 70 % от общей площади ограждающих конструкций.

Как известно, температура наружного воздуха в отопительный период значительно понижается с наступлением темного времени суток, что, в свою очередь, вызывает увеличение нагрузки на систему теплоснабжения зданий. Применение же в темное или нерабочее время суток на промышленных предприятиях помимо дежурного режима отопления, увеличенной рекуперации в системах вентиляции еще и теплоотражающих металлических экранов, повышающих коэффициент сопротивления теплопередаче окон, напротив, приводит к уменьшению отопительной нагрузки, тем самым вызывая увеличение надежности работы системы теплоснабжения и уменьшение затрат на энергоресурсы (см. табл. 1).

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.

Относительно непрозрачных ограждающих конструкций (стен) следует отметить тот факт, что рациональным способом повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий является дополнительное наружное утепление их ограждающих конструкций. При новом строительстве используется как наружное утепление, так и эффективные утеплители в качестве среднего слоя в трехслойных ограждающих конструкциях из кирпича и бетона.

Как и в предыдущие годы, преобладающими в структуре потребления на отечественном рынке являются волокнистые материалы, включающие теплоизоляционные изделия на основе стеклянного и базальтового волокна, минеральной и шлаковой ваты. Их доля в общем объеме использованных в 2005 г. материалов составила 73 %.

Более 20 % рынка приходится на теплоизоляционные пенопласты, преимущественно пенополистирол (беспоресовый ПСБ-С (EPS) – 17 % и экструзионный ЭППС (XPS) – 4 %) и пенополиуретан (ППУ – 1 %).

В климатической камере (рис. 3) было изучено влияние применения такого конструктивного элемента, как металлический экран, на приведенное термическое сопротивление теплопередаче непрозрачной ограждающей конструкции [3]. При проведении эксперимента в качестве металлического экрана использовалась алюминиевая фольга толщиной 70 мкм, в качестве внутренней фальшпанели – ДСП толщиной 16 мм (рис. 6).

Таблица 2. Значения приведенного термического сопротивления в зависимости от вида непрозрачной ограждающей конструкции

Описание ограждающей непрозрачной конструкции (материал и расположение экрана)	Температура воздуха в «холодном» отделении камеры, °С	Температура воздуха в «теплом» отделении камеры, °С	Перепад температур воздуха в «теплом» и «холодном» отделениях камеры, °С	Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции, м <sup>2</sup> ·°С/Вт / %
Контроль (кирпичная кладка)	-12,3	14,6	26,9	1,189 / –
Кладка + ДСП+ экран с «теплой» стороны	-13,3	13,8	27,1	1,821 / 153
Кладка + ДСП + экран с «теплой» стороны + экран с «холодной» стороны	-12,6	14,4	27,0	2,013 / 169

В качестве базовой конструкции (контроль) использовался фрагмент стены из пористого ячеистого силикатного 11-дырочного кирпича с отверстиями, заполненными пенополиуретаном с 25–26 % керамзитовых включений (размеры фрагмента 280×250×380 мм). Толщина кирпичной кладки составила 380 мм. В качестве материала изоляции периметра образца использовалась минеральная вата.

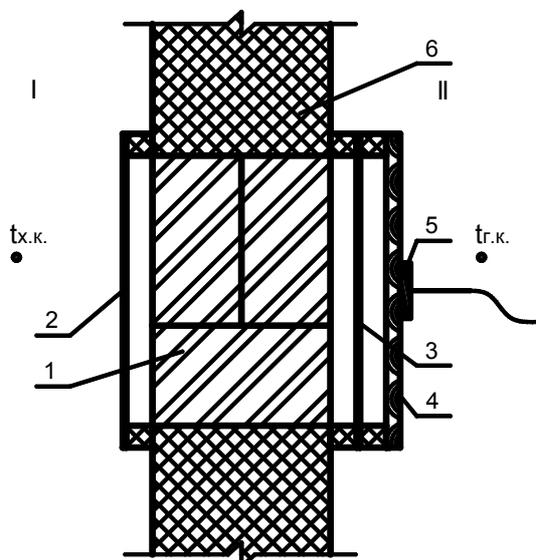


Рис. 6. Конструкция испытываемой непрозрачной ограждающей конструкции с теплоотражающими непрозрачными металлическими экранами: I – «холодное» отделение камеры; II – «теплое» отделение камеры; 1 – фрагмент стены; 2 – металлический экран, установленный с «холодной» стороны; 3 – металлический экран, установленный с «теплой» стороны; 4 – ДСП; 5 – тепломер; 6 – минеральная вата

При проведении эксперимента было отмечено, что стационарный процесс теплопередачи при изменении условий достигался в течение 3–4 суток. Согласно полученным экспериментальным данным (табл. 2), использование алюминиевой фольги толщиной 70 мкм в качестве экрана с «теплой» стороны, установлен-

ного между кирпичной кладкой и фальшпанелью, привело к увеличению приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента стены до 1,821 м<sup>2</sup>·°С/Вт (или на 53 %), по сравнению с базовым вариантом.

Применение же дополнительно металлического экрана с «холодной» стороны вызвало увеличение сопротивления до 2,013 м<sup>2</sup>·°С/Вт (или на 69 %), но эффект был значительно меньше.

### Заключение

В результате проведенных исследований можно отметить, что положительный энергосберегающий эффект от использования теплоотражающих металлических экранов в окнах и стенах имеет место, данные конструкции могут быть рекомендованы к использованию при проектировании ограждающих конструкций жилых и промышленных зданий, причем предлагаемые конструкции являются малозатратными и долговечными. Применение данных технологий значительно снизит нагрузки на системы энергообеспечения зданий.

### Список литературы

1. Банников А.В., Захаров В.М., Смирнов Н.Н. Применение окон с регулируемым сопротивлением теплопередаче для оптимизации режимов работы систем энергоснабжения зданий: Межвуз. сб. науч. тр. «Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС» / ГОУВПО СПб ГТУ РП. – СПб., 2006. – С. 170–174.
2. Захаров В.М., Яблоков В.М., Ладаев Н.М. Свидетельство на полезную модель №16011 от 07.03.2000. Москва.
3. Смирнов Н.Н., Захаров В.М., Банников А.В. Экспериментальное исследование энергосберегающей непрозрачной ограждающей конструкции здания с применением теплоотражающих экранов // Вестник ИГЭУ. – 2007. – Вып. 4. – С. 18–19.

Смирнов Николай Николаевич,  
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
ассистент кафедры промышленной теплоэнергетики,  
телефон (4932) 26-97-24,  
nelli@pte.ispu.ru