

# ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ОКОН С ТЕХНОЛОГИЕЙ УПРАВЛЯЕМОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

В.В. Логвиненко, А.В. Щегольков

*Получены данные по тепловым потокам в адаптированных к сибирским условиям окнах по технологии УЭВС (с управляемыми экранами, расположенными между стеклами). Экспериментально определено влияние положения экрана, температуры наружного воздуха, режима работы системы отопления и присутствия людей в помещении. Данные по удельным тепловым потокам обобщены по перепаду температуры воздуха внутри и вне помещения. Получены зависимости для расчета тепловых потоков окон по технологии УЭВС. Использование управляемых экранов позволяет снизить тепловые потоки в окнах в 1,6 раза.*

Модель экономического роста имеет только два направления, или, как они традиционно называются, экстенсивный и интенсивный пути развития. Экстенсивный путь - производство возрастающего количества энергии путем сжигания все большего количества ископаемого топлива. Интенсивный путь - реализация на практике программы энергоэффективности и энергосбережения. Это касается и России, несмотря на ее кажущееся энергетическое благополучие. Страной Киотского протокола, Россия, как и весь остальной мир, выбрала единственно возможный путь дальнейшего развития - путь сокращения неэффективного использования энергии и увеличения в энергетическом балансе страны возобновляемых источников.

Решающим значением для любой национальной экономики и экологического успеха в области сбережения энергии, затрачиваемой на отопление, является принятие адекватных энергосберегающих мер не только в отношении новых строящихся зданий, но и уже существующих зданий старой постройки. Повышение энергетической эффективности существующих зданий должно неукоснительно выполняться параллельно с внедрением новых энергосберегающих технологий, модернизации их конструктивных элементов.

Одной из таких технологий, реализующих потребительский подход и представляющей особый интерес, является управление тепловыми потоками через окна посредством управления жильцом или автоматикой различными конструктивными элементами окна и его тепловыми характеристиками. Особенно эффективно управление каждым отдельным окном, так как в этом случае будет задействован жилец, заинтересованный в как можно меньших затратах на поддержание микроклимата. Так как тепловые потери через окна могут составлять свыше 50 % от общих тепловых потерь через оболочку здания [1], то

будет достигаться максимальная эффективность энергосбережения.

Применение окон с неуправляемыми теплотехническими свойствами приводит к большим тепловым потерям, к низкой температуре внутренней поверхности остекления, конденсату, наледи. Основной причиной всех этих недостатков является неизменность теплотехнических свойств окон при любых условиях эксплуатации, они не управляются, не содержат информационной составляющей. Существующий подход был ориентирован на стационарные свойства элементов ограждения и единый на протяжении всего отопительного периода режим и регламентировал в СНиП II-3-79 требования к ограждающим элементам по двум критериям: санитарно-гигиеническим и энергосберегающим. Новые нормативы [2, 3] позволяют учитывать нестационарность теплообмена и применить различные требования к комфорту и освещенности в связи с реальными условиями, в том числе с пребыванием людей в помещении или их отсутствием, с уровнем солнечной инсоляции и т.д.

Управляемые теплотехнические свойства разработанных окон подразумевают повышение термического сопротивления окна за счёт снижения светопрозрачности при помощи непрозрачных эффективных управляемых теплоотражающих экранов, закрывающих проем окна при отсутствии необходимости в естественном освещении (отсутствии людей, темное время суток), при этом организуется определенное соответствие с другими средствами обеспечения микроклимата, такими как вентиляция и отопление [4, 5].

На этой идее разработан оконный блок [6], который представлял собой модернизированную конструкцию деревянных окон с двойным остеклением. Между стеклами устанавливается управляемый двухслойный теп-

лозащитный экран из алюминиевой фольги.

При открытом световом проёме термическое сопротивление окна  $0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , что практически соответствует термическому сопротивлению оконного блока с двойным остеклением [7]. При опущенных экранах из алюминиевой пленки, покрытой слоем алюминия, сопротивление теплопередаче составило  $0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ .

Для практического использования. В АлтГТУ разработано на этой основе экспериментальное энергоэффективное окно АлтГТУ с установкой управляемых экранов между стеклами [1]. Для удобства окна такого типа рационально называть окнами по технологии УЭВС – окна с (Управляемыми Экранами, Внутренними, Сибирскими). В окнах АлтГТУ входными характеристиками являются «наличие» или «отсутствие» людей и «освещенность вне помещения, при котором требуется включение (выключение) освещения», а выходными характеристиками окна являются «эффективное сопротивление теплопередаче в режиме эксплуатации» и «светопроницаемость». При отсутствии людей в помещении или при низкой освещенности на улице для окна не требуется прозрачности, можно его «утеплить» непрозрачными подвижными экранами или жалюзи.

Оконный блок с управляемыми теплотехническими характеристиками шириной 2090 мм и высотой 2180 мм установлен в климатическом полигоне кафедры "Теплогазоснабжение и вентиляция", специально приспособленном для исследования окна. Описание полигона, окна, датчиков и системы сбора данных приведены в [1].

Проедена модернизация полигона, окна, датчиков для исследования тепловых потоков через окна Алтайский государственный технический университет по технологии УЭВС. Вместо пластикового полотна желтого цвета установлены два экрана из алюминиевой фольги толщиной 0,055 мм. Экраны изготовлялись из рулона шириной 1 м, поэтому экраны имеют стык. Оконный блок выполнен в деревянном исполнении, конструкция поясняется рис. 1.

Оконный блок выполнен для уменьшения теплопотерь в сибирском регионе через неостекленную часть окна большой шириной 220 мм, всего два стекла в отдельных переплетах, стеклопакет не применялся (для демонстрации возможности удешевления конструкции). Оконный блок имеет резиновые уплотнения по периметру створок. Между переплетами в верхней части смонтирована

труба с электроприводом, на которую могут наматываться или сматываться два экрана из алюминиевой фольги на всю высоту и ширину блока.

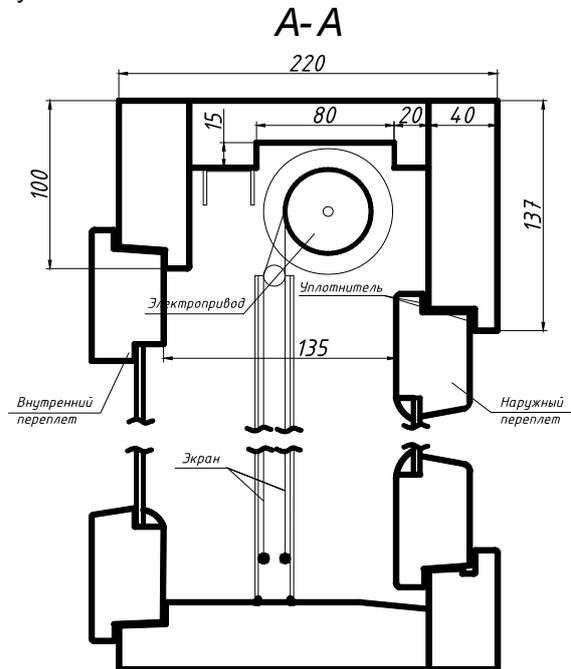


Рис. 1. Конструкция экспериментального оконного блока АлтГТУ с управляемыми теплотехническими характеристиками по технологии УЭВС



Рис. 2. Крепление трубы с намотанным на трубу экраном

На рис. 2 приведено фото крепления трубы с намотанными на трубу экранами. На рис. 3 приведено фото электрического привода трубы, который вставляется во внутрь трубы. Для каждого экрана на боковых сторонах окна смонтированы направляющие из

## ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ОКОН С ТЕХНОЛОГИЕЙ УПРАВЛЯЕМОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

пластмассовых уголков, обеспечивающие совместно с экранами три воздушные камеры внутри оконного блока. Две створки по бокам окна – открывающиеся, а центральная - неоткрывающаяся створка (рис. 4). Таким образом, теплотехнические свойства оконного блока могут изменяться в зависимости от положения экранов. На рис. 5 приведены фото в закрытом положении экранов извне полигона.



Рис. 3. Электрический привод фирмы "Somfi"



Рис. 4. Экспериментальный оконный блок АлтГТУ с управляемыми теплотехническими характеристиками по технологии УЭВС с закрытым экраном (внутренний вид)

С целью получения данных по тепловым потокам в окнах по технологии УЭВС был модернизирован климатический полигон [1] (кафедра ТГВ АлтГТУ). Модернизация заключается в демонтаже старого радиатора из 14 секций и в установке нового радиатора с 7 секциями. Была создана система электрического подогрева воды в радиаторе и система регулирования температуры воздуха в полигоне с точностью 0,2°C.

Создана и отлажена схема система сбора данных по расходу электроэнергии на отопление полигона. Установлены два преобразователя теплового потока производства института технической теплофизики академии

наук Украины (модель ПТП-1.11.01.30.11, заводские номера №14156 и № 14158). Преобразователи тарированы на заводе-изготовителе и имеют характеристики 2,70 Вт/(м<sup>2</sup>·мВ) и 4,27 Вт/(м<sup>2</sup>·мВ) соответственно. На рис. 6 приведено фото датчиков тепловых потоков, установленных по центру крайних створок окна.



Рис. 5. Экспериментальный оконный блок АлтГТУ с управляемыми теплотехническими характеристиками по технологии УЭВС с закрытым экраном (вид снаружи)

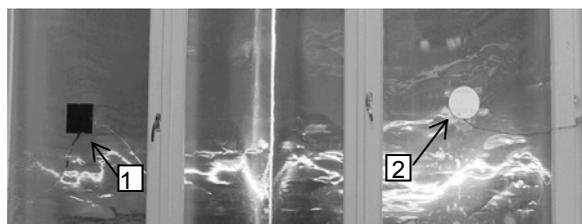


Рис. 6. Датчики тепловых потоков

Измерение и накопление данных по тепловым потокам в окнах АлтГТУ проводилось по схеме, приведенной на рис. 7, с помощью индикатора температуры ИТ6-ХК(L), оснащенного интерфейсом RS-485 для связи с ПК и преобразователя интерфейсов АС4 фирмы «Овен». Прибор позволяет подключать к промышленной сети RS-485 персональный компьютер, имеющий USB-порт. Программное обеспечение индикатора ИТ6-ХК(L) осуществляется программой IT6 Control, позволяющей считывать и отображать текущие показания в реальном времени,

накапливать значения во встроенной базе данных, конвертировать данные из базы данных в Excel-формат. Все приборы в сети оп-

рашиваются за один цикл опроса длительностью 2 мин.

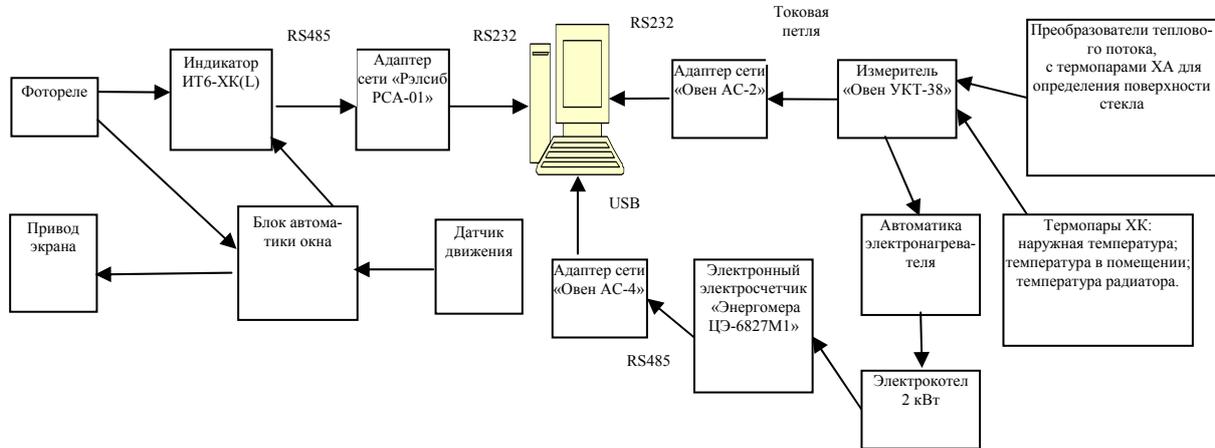


Рис. 7. Схема сбора экспериментальных данных

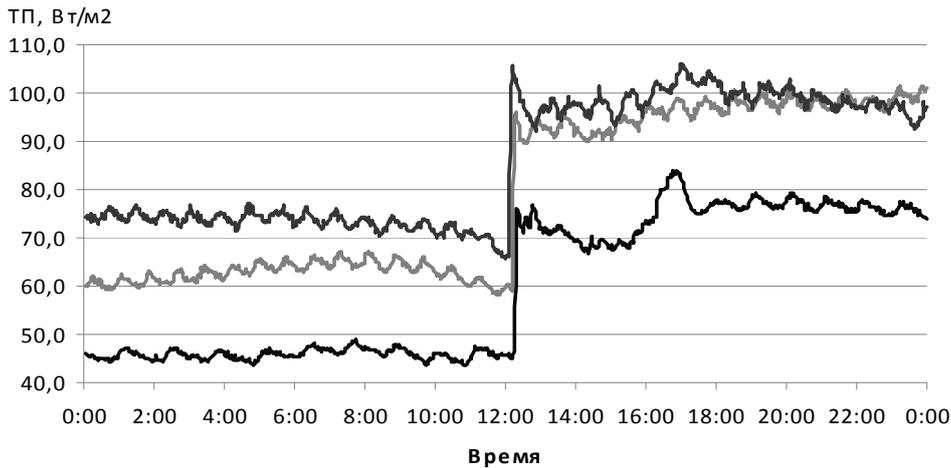


Рис. 8. Тепловые потоки через окно при различных температурах: — при  $T_{\text{наруж.ср.}} = 11,8$ ; — при  $T_{\text{наруж.ср.}} = -24,81$ ; — при  $T_{\text{наруж.ср.}} = -21,59$

Опыты проводились в период с декабря 2007 года по март 2008 года. За это время получено несколько тысяч замеров параметров климатического полигона. Методика проведения опытов заключалась в ручном переводе экранов в противоположное положение каждые сутки, (иногда двое суток) в 12 часов дня. Таким образом, сутки экраны находились в полностью поднятом положении, сутки в опущенном положении. Такая методика проведения опытов позволяет непосредственно оценить влияние положения экранов на тепловой поток через окно.

Методика обработки экспериментальных данных заключалась в их усреднении за периоды 24 часа, за 1 час. Для приведения экс-

периментальных данных к общим для всех условиям использовался «удельный» тепловой поток  $q_y$

$$q_y = q_{\phi} / (t_e - t_n), \quad (1)$$

где  $q_{\phi}$  – фактический тепловой поток через окно, усредненный за периоды 24 часа или за 1 час ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ );  $t_e$  – температура воздуха внутри полигона, усредненная за периоды 24 часа или за 1 час ( $^{\circ}\text{C}$ );  $t_n$  – температура воздуха снаружи полигона, усредненная за периоды 24 часа или за 1 час ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Усреднялись все значения величин измеряемых в опыте: наружного воздуха вне полигона в опытах с изменением положения экранов.

## ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ОКОН С ТЕХНОЛОГИЕЙ УПРАВЛЯЕМОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

На рис. 8 приведены экспериментальные данные по тепловым потокам через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах с изменением положения экранов. В левой части графика, до 12 часов экраны находились в полностью опущенном положении, в правой части, после 12 часов - в полностью поднятом положении. В зависимости от усредненной температуры воздуха снаружи полигона тепловые потоки при опущенных экранах изменялись пределах (76,9-67,3) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_n = -24,1^\circ\text{C}$ ; (65,6-55,6) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_n = -21,59^\circ\text{C}$ ; (48,0-44,4) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_n = -11,81^\circ\text{C}$ .

В зависимости от усредненной температуры воздуха снаружи полигона тепловые потоки при поднятых экранах изменялись пределах (105,7-94,6) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_n = -24,1^\circ\text{C}$ ; (99,9-92,2) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_n = -21,59^\circ\text{C}$ ; (83,2-67,8) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_n = -11,81^\circ\text{C}$ . Следует отметить периодические изменения значений тепловых потоков во времени с периодом примерно от 40 минут до 1,4 часа. Это связано с импульсным отоплением полигона. Именно с такой периодичностью включается 2-х киловаттный электрический нагреватель радиатора.

На рис. 9 показаны удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона. На этом рисунке показано, что экспериментальные данные всех опытов хорошо ложатся на две прямые. Таким образом удельные тепловые потоки, связанные с перепадом температуры воздуха внутри и вне полигона могут обобщать все экспериментальные данные. Так же хорошо виден переход от нижнего положения экранов в верхнее.

На рис. 10 показаны удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах только с верхним положением экранов в диапазоне времени от 0 часов до 24 часов, т.е. в этом представлении нет закрытия или открытия окна экранами.

Максимум тепловых потоков наблюдается в период 7-9 часов и второй в 17-18 часов. Как раз с этими периодами совпадают восход и заход солнца. Минимум тепловых потоков наблюдается в районе 13-15 часов, связан с периодом максимальной высоты стояния солнца и максимальным числом сотрудников и студентов на полигоне.

Следует отметить, что при отсутствии сотрудников и студентов на кафедре, в ночное время наблюдаются пики тепловых потоков. Диапазон изменения тепловых потоков в ночное время в опытах с усредненной темпе-

ратуры воздуха снаружи полигона  $-24,81^\circ\text{C}$  составляет от 116,7 Вт/м<sup>2</sup> до 109,8 Вт/м<sup>2</sup> каждые 20-26 минут, т.е. порядка 7%. Наиболее вероятно, что это связано с импульсным отоплением. На рис. 11 приведены экспериментальные данные по температуре радиатора в наиболее горячей его части. Нагреватель включался как раз примерно через 46-50 минут.

В дневное время во время пребывания сотрудников на кафедре, эта цикличность нарушается, т.е. тепловыделения сотрудников влияют на изменения теплового потока через окна, теплопотери полигона и режим работы электронагревателя.

На рис. 12 показаны удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах только с нижним положением экранов в диапазоне времени от 0 часов до 24 часов, т.е. в этом представлении нет закрытия или открытия окна экранами.

Уровень тепловых потоков существенно ниже, чем в опытах с верхним положением экранов, диапазон флуктуации в ночное время ниже.

На рис. 13 приведена обработка экспериментальных данных по тепловым потокам в зависимости от перепада температуры воздуха внутри и вне полигона. Данные для опытов с нижним положением экранов обобщаются зависимостью

$$q_{\phi} = 1,7102 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) + 8,499. \quad (2)$$

Данные для опытов с верхним положением экранов обобщаются зависимостью

$$q_{\phi} = 2,264 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) + 3,621. \quad (3)$$

На рис. 14 приведена обработка экспериментальных данных по удельным тепловым потокам в зависимости от перепада температуры воздуха внутри и вне полигона. Данные для опытов с нижним положением экранов обобщаются зависимостью

$$q = 0,0061 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) + 1,252. \quad (4)$$

Данные для опытов с верхним положением экранов обобщаются зависимостью

$$q = -0,0023 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) + 2,442. \quad (5)$$

Сопоставление удельных тепловых потоков показывает, что использование экранов уменьшает их в 1,6 раза.

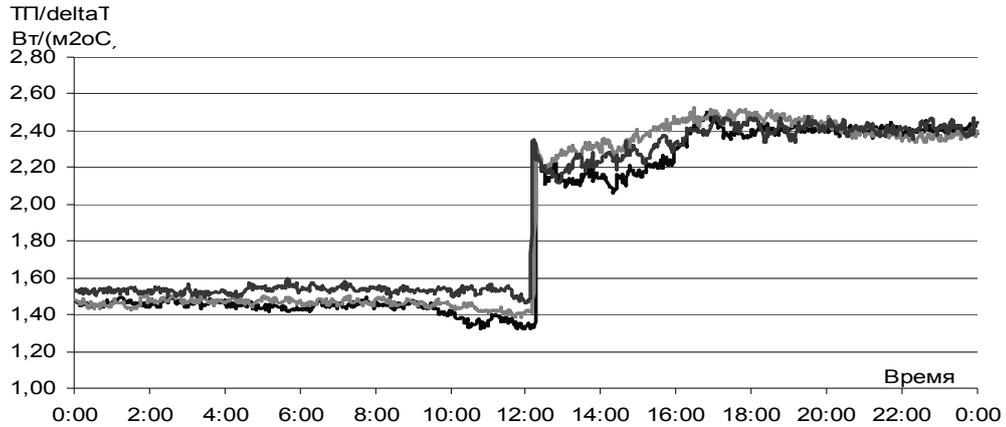


Рис. 9. Удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах с изменением положения экранов: — при  $T_{\text{наруж.ср.}} = 11,8$ ; — при  $T_{\text{наруж.ср.}} = -24,81$ ; — при  $T_{\text{наруж.ср.}} = -21,59$

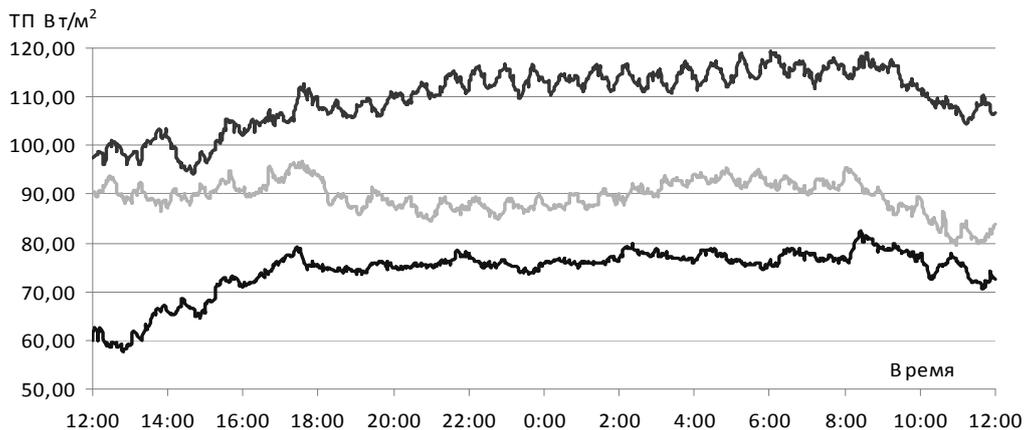


Рис. 10. Удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах с верхним положением экранов: —  $-10,06$ ; —  $-21,65$ ; —  $-27,49$

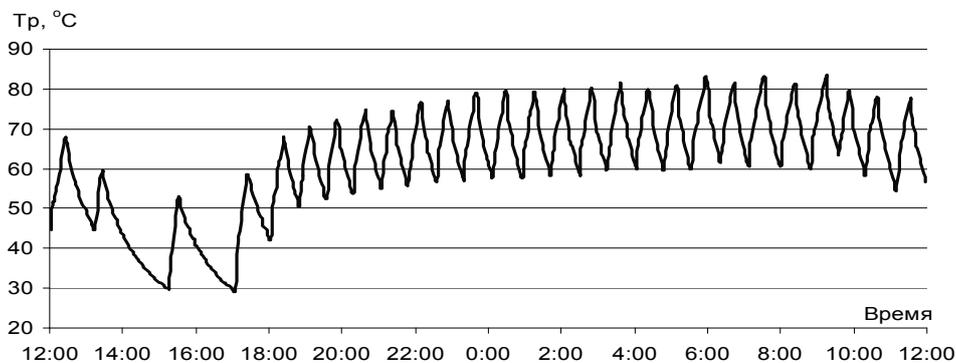


Рис. 11. Температура радиатора в наиболее горячей части в опыте при среднесуточной температуре  $-27,49$  °С: — температура радиатора

## ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ ОКОН С ТЕХНОЛОГИЕЙ УПРАВЛЯЕМОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

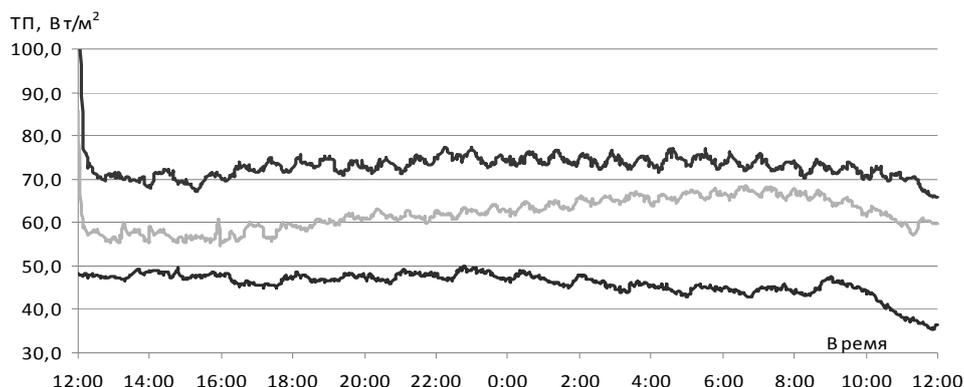


Рис. 12. Удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах с нижним положением экранов: — -10,84; — -21,71; — -27,73

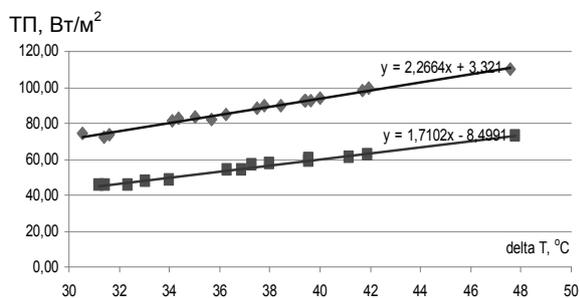


Рис. 13. Тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах: с верхним положением экранов (верхняя прямая) и с нижним положением экранов (нижняя прямая);  $\blacklozenge$  - тепловой поток в среднем за сутки с открытым экраном;  $\blacksquare$  - тепловой поток в среднем за сутки с закрытым экраном; — линия аппроксимации (закрытый экран); — линия аппроксимации (открытый экран)

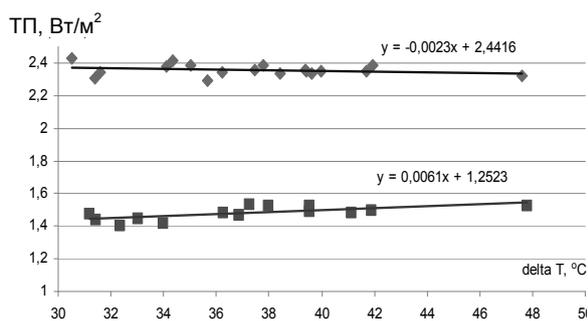


Рис. 14. Удельные тепловые потоки через окно при различных температурах наружного воздуха вне полигона в опытах с верхним положением экранов (верхняя прямая) и с нижним положением экранов (нижняя прямая):  $\blacklozenge$  - приведенный среднесуточный тепловой поток на 1 С при открытом экране;  $\blacksquare$  - приведенный среднесуточный тепловой поток на 1 С при закрытом экране; — линия аппроксимации (открытый экран); — линия аппроксимации (закрытый экран)

Экономический эффект от эксплуатации оконного блока с управляемыми теплотехническими параметрами для полигона за отопительный период может быть оценен в 1,055 ГДж/г.

### ВЫВОДЫ

1. Разработан, смонтирован и в течение года находится в опытной эксплуатации оконный блок с управляемыми теплотехническими характеристиками на основе управляемых экранов в межстекольном пространстве [1]. Оконный блок толщиной 220 мм выполнен для сибирских условий по технологии УЭВС без стеклопакета (всего два стекла в отдельных переплетах). Два управляемых экрана из полиэтиленовой фольги (во всю ширину и высоту блока) перемещаются по высоте окна с помощью управляемого электропривода.

2. Экспериментально, в течение длительного периода времени, определены тепловые потоки через окно при разном положении экранов. В полдень экраны в ручном режиме переводились из верхнего положения в нижнее, на следующий день наоборот. Установлено влияние на величину теплового потока усредненной температуры воздуха снаружи полигона за сутки, режима работы системы отопления полигона, пребывания сотрудников на полигоне.

3. В зависимости от усредненной температуры воздуха снаружи полигона тепловые потоки при поднятых экранах изменялись пределах (105,7-94,6) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_{\text{н}} = 24,1^{\circ}\text{C}$ ; (99,9-92,2) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_{\text{н}} = 21,59^{\circ}\text{C}$ ; (83,2-67,8) Вт/м<sup>2</sup> при  $t_{\text{н}} = 11,81^{\circ}\text{C}$ . Отмечены периодические изменения значений тепловых потоков во времени с периодом пример-

В.В. ЛОГВИНЕНКО, А.В. ЩЕГОЛЬКОВ

но от 40 минут до 1,4 часа, что связано с импульсным отоплением полигона.

4. Экспериментальные данные по удельным тепловым потокам обобщаются по перепаду температуры воздуха внутри и вне полигона. В результате обработки данных получены зависимости (2) - (5), позволяющие рассчитывать тепловые потоки или удельные тепловые потоки окон по технологии УЭВС.

5. Сопоставление удельных тепловых потоков показывает, что использование управляемых экранов позволяет снизить тепловые потоки в окнах по технологии УЭВС в 1,59 раза.

6. Эффективное сопротивление теплопередаче окна АлтГТУ по технологии УЭВС за отопительный период может быть оценено на уровне  $0,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Логвиненко В.В., Щегольков А.В. Эффективность окон АлтГТУ с управляемыми теплотех-

ническими свойствами в образовательных учреждениях // Инженерные системы. Реконструкция и эксплуатация. - №2. - 2007. - С.22-27.

2. ТСН 23-325-2001 АлтК Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Энергосберегающая теплозащита зданий. Нормы проектирования.

3. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.

4. Лисин М.К. Патент № 2194924 РФ. Способ управления параметрами микроклимата помещения / М.М.Титов, М.К. Лисин, В.А. Власов. - Оpubл. 20.12.2002 г. - Бюл. № 35.

5. Лисин М.К. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2002133916/22 от 09.07.2004 г. Оконный блок / М.М.Титов, М.К. Лисин.

6. Логвиненко В.В., Титов М.М., Лисин М.К. Повышение энергоэффективности зданий путём управления теплопотерями через окна // Вестник Алтайской науки. - 2004. - № 1. - С.168-172.

7. ГОСТ 26602.1-99 Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. - М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. - 16 с.