

Тагир А. АХМЯРОВ, Владимир А. ЛОБАНОВ
Александр В. СПИРИДОНОВ, Игор Л. ШУБИН
Научно-исследовательский институт строительной физики, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ «АКТИВНОГО» ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Целью исследований, представленных в настоящей статье, являлась разработка методики экспериментального подтверждения эффективности новых принципов проектирования и принципиальных технических решений энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций зданий на основе механизма активной рекуперации выходящего теплового потока зданий (сооружений, теплиц) с большим процентом остекления.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные конструкции, система активного энергосбережения, рекуперация теплового потока и влаги

Основными задачами экспериментальных исследований элементов системы «активного» энергосбережения являлись:

- оценка снижения теплопотерь из помещений через ограждающие и светопрозрачные конструкции в различных вариантах исполнения;
- определение наиболее подходящих материалов для использования в новом поколении ограждающих и светопрозрачных конструкций;
- оптимизация расстояний между слоями основных конструкций и специальными теплоотражающими экранами различного исполнения;
- организация оптимизированной продольно-поперечной вентиляции в пространстве между слоями нового поколения ограждающих и светопрозрачных конструкций;
- разработка эффективного способа подачи наружного воздуха в пространство между наружным ограждающим слоем, экранами и ограждающей конструкцией (в случае со светопрозрачными конструкциями - в межстекольное пространство);
- разработка способов эффективного использования нагретого воздуха в пространстве между экранами воздуха с применением современного поколения рекуператоров, в том числе с рекуперацией тепла и влаги вентиляционных выбросов с КПД более 90%.

Энергоэффективные вентилируемые ограждающие и светопрозрачные конструкции (ЭВОК и ЭВСОК) невозможно оценивать только по приведенному

сопротивлению теплопередаче, т.к. в процессе эксплуатации они функционируют во внешних условиях, которые изменяются в широком диапазоне [1]. При этом вентилирование и теплосъём в воздушной прослойке непосредственно за внутренней поверхностью внешнего остекления или облицовочной панели осуществляется наружным воздухом в режиме работы приточных устройств системы приточно-вытяжной вентиляции.

Для объективной оценки ЭВОК и ЭВСОК были предложены дополнительно [1] два показателя:

1. Коэффициент уменьшения плотности выходящего теплового потока ($K_{уп}$) при прохождении в центральной зоне ограждающей конструкции (определяет ориентировочно на сколько уменьшается выходящий тепловой поток и, соответственно, повышаются теплотехнические характеристики модуля ограждающей конструкции):

$$K_{уп} = q_t(\text{ц})/q_x(\text{ц}) \quad (1)$$

2. Коэффициент рекуперации (возвращения) выходящего теплового потока ($K_{рп}$), который определяется в процентах от плотности входящего теплового потока:

$$K_{рп} = (q_t(\text{ц}) - q_x(\text{ц})) \times 100\%/q_t(\text{ц}) \quad (2)$$

где: $q_t(\text{ц})$ и $q_x(\text{ц})$ - плотность теплового потока на поверхностях ограждающей конструкции с теплой и с холодной стороны (индекс «ц» - в центральной зоне модуля ограждающей конструкции).

Для каждой из испытанных экспериментальных конструкций определялись плотности выходящего теплового потока в различных зонах, а также на всех основных поверхностях. Свидетельством эффективности предложенного авторами механизма снижения теплопотерь через ограждающие конструкции зданий являются замеры тепловых потоков с холодной стороны экспериментального образца (рис. 1) при выключенном и включенном режиме активной рекуперации выходящего теплового потока.

Испытания, представленные на рисунке 1, проводились с использованием одного из вариантов экспериментального стенда. При этом, помимо изначального наружного простого стекла М1 и отнесенного на 140 мм от него однокамерного стеклопакета 4Их16х4, в межстекольном пространстве на отnose 64 мм от наружного стекла был установлен светопрозрачный экран из К-стекла с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, а на отnose 100 мм от наружного стекла был установлен дополнительный светопрозрачный экран из К-стекла с теплоотражающим покрытием, также обращенным в теплую сторону.

На начальном этапе испытаний (измерения $1 \div 10$) оба вентилятора (на приток и вытяжку) были отсоединены и убраны из холодильной камеры, на торцы вентиляционных каналов были установлены заглушки. Холодильная камера работала до установления стационарного режима. Временной интервал между измерениями составлял 15 минут.

После установления стационарного режима (без отключения холодильной установки) оперативно были установлены и включены оба вентилятора (на приток и на вытяжку), которые обеспечивали работу механизма активной рекуперации выходящего теплового потока. На входе воздушного потока было оборудовано распределительное сопло толщиной 10 мм и щель 3 мм, а на выходе - распределительное сопло толщиной 10 мм. Вентиляторная стойка в холодной части климатической камеры все время была включена, обеспечивая выполнение требований ГОСТ 26602.1-99.

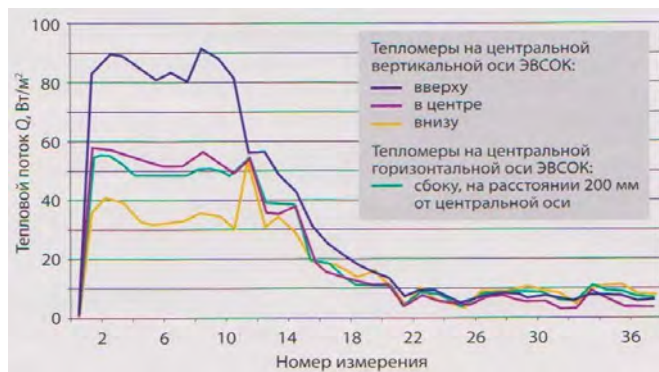


Рис. 1. Результаты измерения выходящего теплового потока при выключенном и включенном механизме активной рекуперации

Все остальные измерения (11÷40) проводились в условиях функционирования механизма активной рекуперации выходящего теплового потока. На рисунке 1 представлены данные измерения выходящего теплового потока с холодной стороны светопрозрачной конструкции в различных областях (сверху, по центру и внизу по центральной вертикальной оси, а также сбоку по центральной горизонтальной оси).

Из обсуждаемого рисунка очевидна эффективность влияния предложенного механизма активной рекуперации на величину выходящего теплового потока - в различных областях он снижается (измерения 20÷40) в 8÷12 раз по сравнению с первоначально установившимся потоком (измерения 2÷10). Результаты исследований наиболее показательных вариантов конструкций ЭВСОК приведены на рисунках 2-4.

Вариант 1 (рис. 2) - наружное К-стекло с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, и отнесенная на 140 мм спаренная рама с одним внешним простым стеклом, на расстоянии 30 мм от наружного стекла установлен светопрозрачный теплоотражающий экран из К-стекла с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону (по бокам щели 30 мм, низ качественно проклеен скотчем, вверху распределительное сопло 10 мм и щель 5 мм), два вентилятора на приток и вытяжку с расходом 26 м³/ч. На входе воздушного потока установлены распределительное сопло 10 мм и щель 3 мм, на выходе распределительное сопло 10 мм. Экран установлен как «стационарное остекление».

Вариант 2 (рис. 3) - наружное К-стекло с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, и отнесенная на 140 мм спаренная рама с двумя простыми стеклами, на расстоянии 70 мм от наружного стекла установлен непрозрачный теплоотражающий экран из алюминиевой фольги (по бокам, сверху и внизу экрана оставлены щели), два вентилятора работают на приток и вытяжку с расходом $26 \text{ м}^3/\text{ч}$. На входе воздушного потока установлены распределительное сопло 10 мм и щель 3 мм, на выходе - распределительное сопло 10 мм. Вентиляторная стойка выключена.

Вариант 3 (рис. 4) - наружное К-стекло с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, и на расстоянии 140 мм от него - спаренная рама с двумя простыми стеклами, на 30 мм от наружного стекла установлен светопрозрачный теплоотражающий экран из К-стекла (по бокам и внизу экрана щели 30 мм, которые проклеены скотчем, вверху расположено сопло и щель 5 мм), два вентилятора работают на приток и вытяжку с расходом $26 \text{ м}^3/\text{ч}$. На входе воздушного потока установлены распределительное сопло 10 мм и щель 3 мм, на выходе - распределительное сопло 10 мм. Вентиляторная стойка включена.

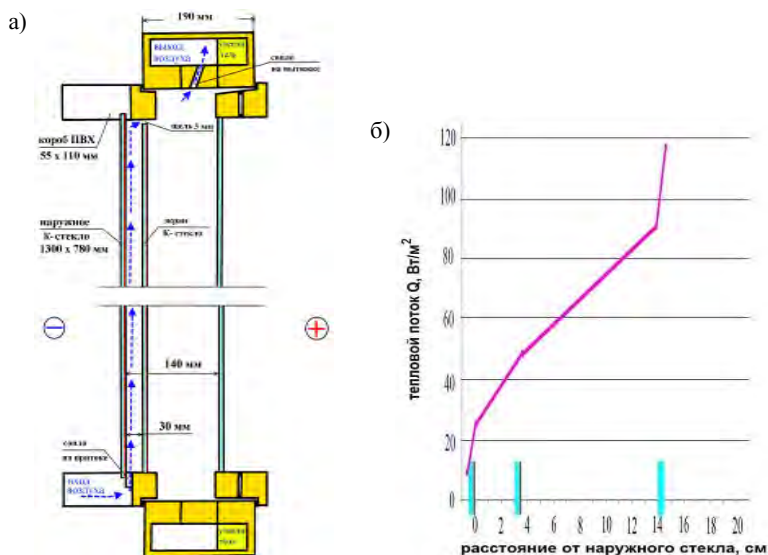


Рис. 2. Схема экспериментального стенда (а) и результаты экспериментов (б)

Основные результаты исследований сведены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Результаты испытаний светопрозрачных конструкций в соответствии с экспериментальной схемой (рис. 2) - тепловые потоки

№	СПК/ЭС №4	ТЭ	П	Qx	Qt	Roф	Kуп	Kрп	Примечание
1	Два стекла в рамах	Нет	0	115	115	0,4	1	0	Примечание №1
2	К-стекло и стекло в раме	К-ст. + К-ст.	26	10	100	4,7	10	90	Примечание №4
3	К-стекло и стекло в раме	К-ст. + К-ст.	11	7	95	6,9	14	93	Примечание №5
4	К-стекло и стекло в раме	К-ст. + К-ст.	26	6	100	8	17	94	Примечание №4
5	К-стекло+СП (си-ст.)+ст.	К-ст. +И-ст.	11	4	90	12	22	96	Примечание №9

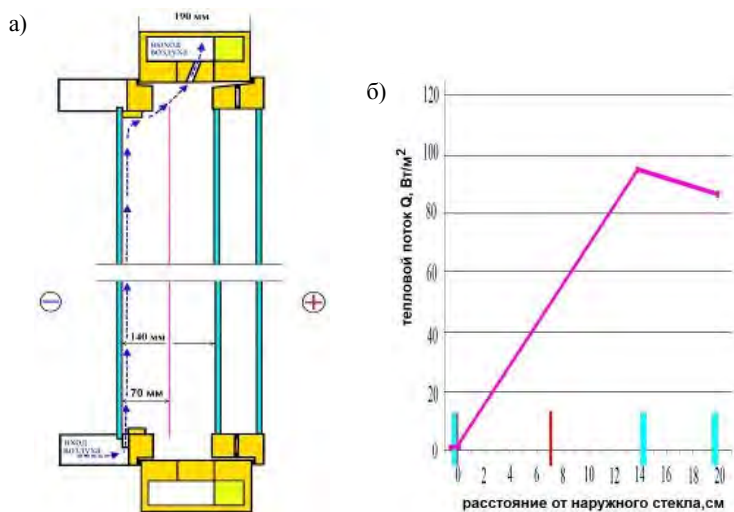


Рис. 3. Схема экспериментального стенда (а) и результаты экспериментов (б)

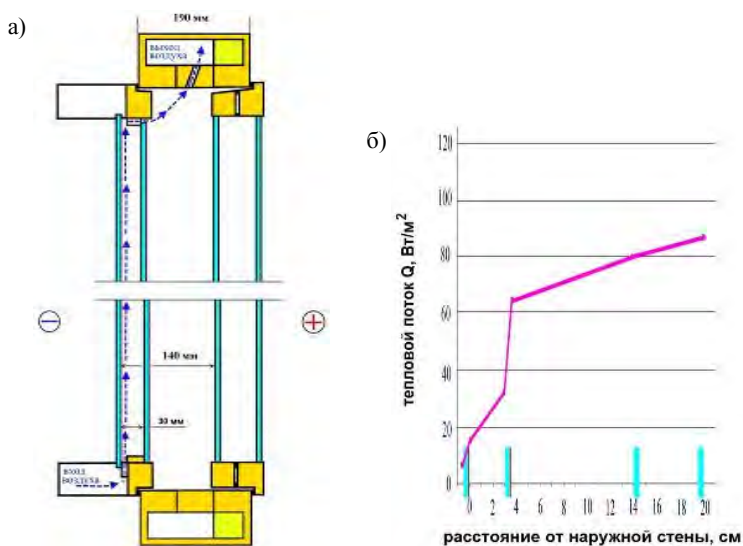


Рис. 4. Схема экспериментального стенда (а) и результаты экспериментов (б)

Таблица 2. Результаты испытаний светопрозрачных конструкций в соответствии с экспериментальной схемой (рис. 3) - тепловые потоки

№	СПК / ЭС №2 и №5	ТЭ	П	Qx	Qt	Roф	Kуп	Kрп	Примечание
1	Три стекла	Нет	0	80	80	0,6	1	0	Примечание №1
2	Стекло и СП (СИ-ст.)	И-стекло	33	15	68	3,2	4,5	78	Примечание №10
3	К-стекло и СП (СИ-ст.)	К-ст. + и-ст.	9	15	61	3,2	4	75	Примечание №3
4	К-стекло и СП (СИ-ст.)	К-ст. + и-ст.	20	12	65	4	5,4	82	Примечание №2
5	Стекло и СП (СИ-ст.)	и-ст. + К-ст.	30	8	55	6	7	86	Примечание №6
6	Стекло и СП (СИ-ст.)	и-ст. + два К-ст.	30	7	55	6,9	8	87	Примечание №7
7	Стекло и СП (СИ-ст.)	и-ст. + два К-ст.	27	5,4	50	8,9	10	81	Примечание №8

Таблица 3. Результаты испытаний светопрозрачных конструкций в соответствии с экспериментальной схемой (рис. 3) - тепловые потоки

№	СПК/ЭС №3 и №5	ТЭ	П	qx	qt	Roф	Kуп	Kрп	Примечание
1	Три стекла	Нет	0	80	80	0,6	1	0	Примечание №1
2	Стекло и два стекла в раме	Нет	26	32	100	1,5	3	68	Примечание №11
3	К-стекло и два стекла в раме	К-стекло	26	16	100	3	6	84	Примечание №12
4	К-стекло и СП (си-ст.)	К-ст. + и-ст.	9	15	61	3,2	4	75	Примечание №3
5	К-стекло и СП (си-ст.)	К-ст. + и-ст.	20	12	65	4	5,4	82	Примечание №2
6	К-стекло и два стекла в раме	К-ст. + К-ст.	26	7	87	6,9	33	97	Примечание №4
7	К-стекло и два стекла в раме	К-ст. + Кст.	26	4	95	12	85	99	Примечание №4
8	К-стекло и два стекла в раме	К-ст. + Кст.	26	3	98	16	24	96	Примечание №4
9	К-стекло и два стекла в раме	Кст.+ж.ал.ф.	26	1	85	47	12	92	Примечание №13

Пояснения к таблицам 1-3:

- СПК/ЭС№ - описание исследуемой светопрозрачной конструкции/соответствие номеру экспериментального стенда по рис. 2;
- ТЭ - наличие (или отсутствие) теплоотражающего экрана в межстекольном пространстве и его описание;
- П - показания приточного расходомера, м³/час;
- qx, qt - плотности выходящего теплового потока с холодной и теплой стороны светопрозрачной конструкции, Вт/м²;
- Roф - условное сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции, определяемое в соответствии с [6], как $\Delta T/qx$, м²°С/Вт;
- Kуп - коэф. уменьшения плотности выходящего теплового потока, отн. ед.;
- Kрп - коэф. рекуперации (возвращения) выходящего теплового потока, %;
- ΔT - разница температур в холодной и теплой частях климатической камеры, °С;
- К-стекло - низкоэмиссионное стекло с твердым теплоотражающим покрытием;
- И-стекло - низкоэмиссионное стекло с мягким теплоотражающим покрытием;
- Примечания: 1 - данные приведены для конструкции, соответствующей ГОСТ 23166 - 99 «Блоки оконные. Общие технические условия»;
- 2 - теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 12 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;
- 3 - то же, что и в Пр. 2, но работал только вытяжной вентилятор, а приточный был выключен; измерения проводились по приточному расходомеру;
- 4 - теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 30 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;
- 5 - то же, что и в Пр. 4, но работал только вытяжной вентилятор, а приточный был выключен; измерения проводились по приточному расходомеру;
- 6 - теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 64 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;
- 7 - 1-й теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 64 мм от наружного стекла, покрытие обращено в холодную сторону,

- 2-й теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 100 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;
- 8 - 1-й теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 64 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону, 2-й теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 100 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;
 - 9 - на расстоянии 12 мм от наружного остекления в качестве теплоотражающего экрана был временно установлен и зафиксирован однокамерный стеклопакет 4Их16х4 (внеш. И-стекло с теплоотражающим покрытием, направленным в теплую сторону, внутреннее простое стекло, в межстекольном пространстве - воздух), работал вытяжной вентилятор;
 - 10 - в данном варианте ЭС № 3 была проведена оптимизация условий подачи воздушного потока и увеличен расход воздуха;
 - 11 - в данном варианте ЭС № 4 были включены вентиляторы на приток и на вытяжку с расходом $26 \text{ м}^3/\text{час}$;
 - 12 - в данном варианте ЭС № 4 было установлено наружное К-стекло с покрытием в теплую сторону, работали оба вентилятора с расходом воздуха $26 \text{ м}^3/\text{час}$;
 - 13 - в данном варианте ЭС № 4 на расстоянии 70 мм от наружного К-стекла были установлены жалюзи из полированной алюминиевой фольги толщиной 12 мкм, работали оба вентилятора с расходом воздуха $26 \text{ м}^3/\text{час}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исследований нового поколения ограждающих и светопрозрачных конструкций позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Эксперименты подтвердили очень высокую эффективность предложенных авторами [1-3] ограждающих и светопрозрачных конструкций.
2. При оптимальном применении ЭВОК и ЭВСОК возможно обеспечить коэффициент рекуперации (возврат обратно в помещение) выходящего теплового потока выше $0,9 \div 0,94$, что свидетельствует о практически полном исключении теплопотерь из помещений через оболочку зданий при последовательном воздействии нескольких эффективных теплоотражающих экранов/слоев в зоне действия воздушной завесы.
3. Для широкого класса ограждающих и светопрозрачных конструкций были установлены оптимальные режимы обеспечения эффективной вентиляции воздушной прослойки - определены необходимые скорости потока входящего воздуха, размеры сопел и щелей на входе и выходе потока.
4. Были определены направления дальнейших необходимых исследований ЭВОК и ЭВСОК, а также их использования в зданиях различного назначения для обеспечения реального энергосбережения.
5. Ряд нормативных документов необходимо дополнить положениями о возможности измерений и регистрации теплопотерь и выходящих тепловых потоков через ЭВОК и ЭВСОК с холодной их стороны при наличии

и отсутствии ветровой нагрузки, так же как и нормативные документы, касающиеся оценки энергии вентиляционных выбросов.

На следующем этапе исследований предполагается оценить возможности повышения эффективности различных фасадных ограждающих конструкций за счет дополнения их различными элементами системы «активного» энергосбережения, в том числе - оптимизированной активной рекуперацией (АР) выходящего теплового потока и влаги. Одной из основных задач предстоящих исследований является получение убедительных доказательств того, что замена большинства распространенных на отечественном строительном рынке утеплителей на ограждающие конструкции с использованием механизма активной рекуперации выходящего теплового потока и влаги дешевле, долговечнее и перспективнее традиционных подходов. Одной из основных проблем во вновь строящихся российских многоэтажных жилых и реконструируемых зданиях, где устанавливаются новые светопрозрачные конструкции, является выполнение требований по обеспечению нормируемых условий воздухообмена. При использовании предлагаемого авторами нового поколения ЭВОК и ЭВСОК возможно выполнение всех требований по обеспечению теплозащиты и комфортности микроклимата - причем со значительным превышением.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Принципы проектирования и оценки наружных ограждающих конструкций с использованием современных технологий «активного» энергосбережения и рекуперации теплового потока, Жилищное строительство 2014, № 6,
- [2] Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Энергоэффективные вентилируемые ограждающие конструкции с активной рекуперацией выходящего теплового потока, Жилищное строительство 2014, № 10.
- [3] Ахмяров Т.А., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные ограждающие конструкции, Энергосбережение 2014, № 8.
- [4] Фокин К.Ф., Строительная теплотехника ограждающих частей зданий, АВОК-ПРЕСС, Москва 2006.
- [5] Беляев В.С., Лобанов В.А., Ахмяров Т.А., Децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла, Жилищное строительство 2011, № 3.
- [6] Ахмяров Т.А., Беляев В.С., Спиридонов А.В., Шубин И.Л., Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла, Энергосбережение 2013, № 4.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES FOCUSED ON SYSTEM OF "ACTIVE" RECOVERY ELEMENTS

Main objective of the researches presented in the article was confirmation of efficiency of the new principles of design and basic technical solutions of the energy efficient ventilated envelopes and fenestration in buildings on the basis of the mechanism of active recovery of the leaving thermal stream).

Keywords: energy efficient ventilated fenestration and facade, system of active energy saving, recovery of transmission heat