**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве»

Методическое пособие

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ЗДАНИЙ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭКОНОМИЮ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ (ТЭР)

Москва 2015

gost.e-ecolog.ru

Методическое пособие разработано следующим авторским коллективом: АО «ЦНИИЭП жилища» – В.С. Беляев, заведующий лабораторией теплового и воздушного режима зданий, окон и дверей, руководитель и ответственный исполнитель темы (разработка конструкции, теории, методик расчетов, проведение испытаний), С.А. Кузнецов, гл. специалист (проведение теплофизических испытаний, обработка результатов), Т.А. Большакова, вед. инженер (ответственный исполнитель); НИИСФ– А.В. Спиридонов, з аведующий лабораторией (приложение Г), Т.А. Ахмяров, ведущий научный сотрудник (приложение Г).

Содержание

1.	Введение	4
2.	Область применения	6
3.	Нормативные ссылки	6
4.	Термины и определения	6
5.	Общие положения	7
6.	Наружные ограждения с рекуперацией трансмиссионного тепла (НОРТ-1)	7
6.1.	Рекомендации по применению НОРТ-1	7
6.2.	Теплотехнический расчет НОРТ-1 (Методика расчета)	15
6.3.	Экспериментальные исследования НОРТ-1	18
7.	Наружные ограждения с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного тепла (НОРТ-2, НОРТ-п)	29
7.1.	Рекомендации по применению НОРТ-2, НОРТ-п	29
7.2.	Теплотехнический расчет (НОРТ-2, НОРТ-п). Методика и пример расчета	32
7.3.	Экспериментальные исследования НОРТ-2	38
8.	Заключение	50
	Приложения	51
	Список литературы	79

1. Введение

С помощью вентиляции (постоянного контролируемого воздухообмена) в жилье поддерживается нормальная влажность воздуха, удаляются углекислый газ и радиоактивный газ радон, неприятные запахи стройматериалов, кухни, дыма и т.д. Для такого воздухообмена обязательно должны обеспечиваться приток и вытяжка воздуха, причем одновременно. За исключением самых элитных домов проектировщики в квартирах предусмотрели только естественную вытяжную систему.

Специальных устройств для притока воздуха в квартирах нет, для этого используются окна. В старых деревянных окнах всегда было достаточно щелей для допуска внешнего воздуха в избыточных количествах с образованием сквозняков, попаданием в квартиру шума, пыли и грязи. Движение воздуха от окон через комнаты до вытяжки на кухне и в санузлах происходит под действием природных факторов: перепада температур между улицей и помещением и ветра. Сильнее тяга в вытяжке на нижних этажах, хуже на верхних. Лучше такая система работает зимой, хуже - весной и осенью, почти не работает летом. Кондиционеры к вентиляции не имеют никакого отношения, они «гоняют» воздух внутри комнаты, охлаждая или нагревая его.

При установке герметичных окон со стеклопакетами из-за отсутствия в них щелей баланс между притоком и вытяжкой воздуха нарушается, вся эта система естественной вентиляции практически перестает работать. Результат известен: духота, дискомфорт, повышенная влажность, зимой конденсат на окнах и стенах вплоть до появления грибков и плесени.

Улучшению воздушного режима помещений и. экономии тепла отвечает способ вентиляции помещений через наружные ограждения с выводом воздуха в помещение. Эффект такой вентиляции заключается в том, что холодный воздух, проходя через наружное ограждение, нагревается и входит в помещение, возвращая часть теряемого тепла.

Предлагаемая система вентиляции имеет в своей основе принцип рекуперации (возвращение, экономайзерный эффект теплового потока при фильтрации воздуха через наружную ограждающую конструкцию). Теоретические основы этого эффекта для поперечной фильтрации были заложены д.т.н. Ушковым Ф.В. (см.книгу «Теплопередача ограждающих конструкций зданий при фильтрации воздуха», М., Стройиздат, 1969г.) [1], а для продольной и продольно-поперечной Беляевым В.С. [2,3].

Можно получить около 50÷70% экономии трансмиссионного тепла, теряемого через наружное ограждение при реализации предложения по продольно-поперечной вентиляции через окна.

Кроме указанного теплового эффекта имеется эффект шумопоглощения и гигиенический за счет подачи прогретого свежего воздуха в верхнюю зону помещения и сохранения и поступления новых, необходимых человеку отрицательно заряженных ионов, в отличие от используемых в настоящее время шумозащитных клапанов с применением металла, где отрицательные ионы теряются.

Анализируя количество воздуха, поступающего в помещение при обычном проветривании, и требуемого, определив дефицит свежего воздуха (около 40 кг/ч на человека) и определив расчет количества воздуха, поступающего при вентиляции окна, можно сделать вывод, что вентилируемое окно ~1,5 м х 1,5 м способно обеспечить поступление требуемого количества воздуха, необходимого для естественной вентиляции помещения площадью 10 м^2, расположенного в зоне инфильтрации жилого дома.

Актуальность перехода от неуправляемой инфильтрации наружного воздуха к организованной регулируемой подаче его через специальные приточные устройства при условии сохранения теплового комфорта в помещении диктуется экономическими (сокращение перерасхода тепла, вызванного избыточной инфильтрацией, сопровождающей залповое проветривание через форточки и узкие створки) и гигиеническими (постоянное обеспечение свежим воздухом в соответствии с нормами) соображениями и подтверждается соответствующими положениями в СНиП.

В связи с разработкой готовых технических решений вентилируемых окон появилась необходимость определения теплового эффекта на этих конструкциях в климатической камере.

В ряде случаев, в частности в окнах, возможно применение вентиляции с многократным, как попутным, так и встречным движением воздуха. При этом утилизируется не только тепло передаваемое материалом (так называемое трансмиссионное), но и вентиляционное, теряемое с вытяжным воздухом. Тепловой эффект при этом заметно повышается.

Суть таких конструкций заключается в том, что воздух движется по двум смежным, разделенным перегородкой каналам: по одному – приточный, по другому – вытяжной. Могут быть конструкции, имеющие и более сложный характер движения воздуха.

2. Область применения

Настоящие методически указания (МУ) распространяются на проектирование тепловой защиты ограждающих конструкций вновь возводимых, реконструируемых, капитально реконструируемых жилых и общественных здания с нормируемой температурой и относительной влажностью внутреннего воздуха; выявление показателя тепловой эффективности здания с учетом соблюдения санитарно-гигиенических требований за счет выбора более эффективного варианта наружного ограждения и повышения теплотехнической однородности наружных ограждений; применения других энергосберегающих мероприятий.

3. Нормативные ссылки

Перечень нормативных документов приведен в Приложении А.

4. Термины и определения

Термины, применямые в МУ, приведены в Приложении Б.

5. Общие положения

4.1.Наружные ограждающие конструкции совместно с системой инженерного оборудования должны обеспечивать нормируемые значения температуры и относительной влажности воздуха в помещениях при минимальном энергопотреблении.

4.2.Для повышения энергетической эффективности зданий следует разрабатывать новые энергоэффективные конструкции.

4.3.При проектировании зданий и сооружений при соответсвующем обосновании следует применять наружные вентилируемые ограждения с рекуперацией тепла, механическую приточную вентиляцию, вентиляцию с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов, теплонасосных систем теплоснабжения, систем аккумулирования тепловой энергии, эффективные отопительные приборы с регулируемой теплоотдачей, системы автоматизированного учета потребления энергоресурсов и управления микроклиматом и др.

4.4. Для исключения дефектов наружных ограждений в теплотехнических расчетах учитывать влияние фильтрации воздуха на теплопередачу.

6. Наружные ограждения с рекуперацией трансмиссионного тепла (НОРТ-1)

6.1. Рекомендации по применению

Наружные стены с вентилирующими устройствами, утилизирующие тепло, с одинарным, двойным и многократным движением воздуха (НОРТ) (рис. 1).

Принципом действия таких стен (НОРТ-1) является рекуперация (возвращения) трансмиссионного теплового потока движущимся воздухом в помещение. Наружный воздух поступает в вентилируемую прослойку через приточные отверстия внизу наружного защитного слоя, поднимается вверх по прослойке и выходит в помещение через приточные отверстия вверху внутреннего слоя.

Конфигурация сечения приточных каналов служит для поступления свежего воздуха в помещение в зимнее время. Площадь сечения канала должна быть больше площади сечения воздухозаборной щели, и их сечения рассчитываются в зависимости от расчетного напора воздуха.

С внутренней стороны приточных каналов крепят регулируемые клапаны, которые могут перекрывать их полностью или частично, в зависимости от тепловлажностного режима и требуемого воздухообмена помещения. Регулировка клапанов осуществляется индивидуально по ощущению комфорта.

НОРТ-1 применяется во всех районах, где допускается естественная вентиляция, в зданиях, если в них имеется естественная или механическая вентиляция.

НОРТ-1 могут быть трехслойные бетонные с ребрами и без них, одно- и двухслойные бетонные с каналами, легкие навесные, цокольные, окна.

НОРТ-1 могут иметь как сплошную вентилируемую воздушную прослойку, так и выполненную из воздухопроницаемого материала, имеющего коэффициент воздухопроницаемости порядка 12 кг/(п.м. $Па^{2/3}$) и обеспечивающего поступление не менее 10 $м^3$/ч м свежего воздуха в помещения.

Вентилируемым слоем панелей может служить утеплитель с каналами. Глубина, ширина и частота каналов выполняются в зависимости от требуемого количества воздуха, поступающего в помещение. Панели, имеющие внутренний плотный конструктивный слой и наружный слой из раствора, и слой из крупнопористого керамзитобетона, могут вентилироваться через этот слой.

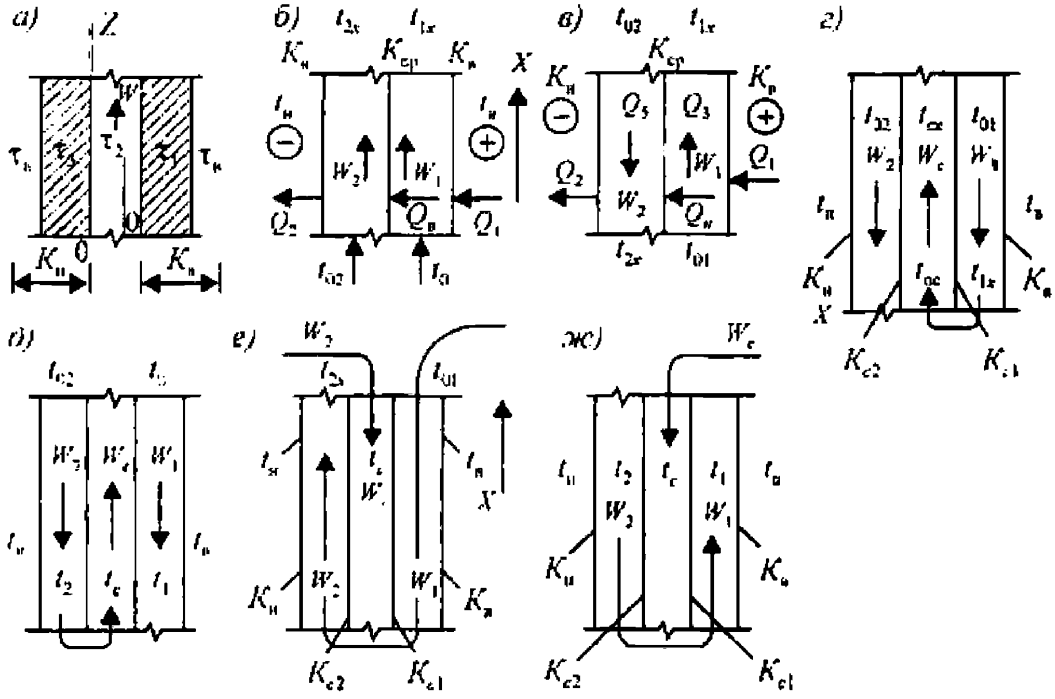


Рис. 1. **Расчетные схемы:**
а – с одинарным движением воздуха; *б* – с попутным двойным движением воздуха; *в* – с встречным двойным движением воздуха; *г-ж* – с многократным движением воздуха

Воздухонепроницаемые слои могут выполняться: внутренний из легкого плотного бетона с γ_o = 1600 кг/м^3 или тяжелого бетона с γ_o = 2500 кг/м^3, наружный слой из цементно-песчаного раствора.

Одно и двухслойные могут применяться в южных районах с величиной градусосуток не более 2000. В более северных районах целесообразно применять фасадные системы с эффективным утеплителем (см. рис. 2) и вентилируемым воздушным зазором (рис. 3).

Эти конструкции состоят из внутреннего несущего слоя из железобетона, кирпича или легкого бетона, слоя эффективного утеплителя, воздушного вентилируемого зазора и экрана. Экраны могут выполняться из натурального камня, керамогранита, утепленных панелей и т.п. Приток воздуха осуществляется через

специальные отверстия внизу воздушной прослойки. Вытяжка воздуха из прослойки осуществляется в летнее время через верхние отверстия в наружном слое, в зимнее время через отверстия вверху внутренних слоев, снабженные регулирующими клапанами, закрываемыми в летний период. Таким образом, достигается повышение теплоустойчивости стен в летнее время и экономия тепла в зимнее время. С внутренней стороны экран должен иметь низкий коэффициент излучения. для этого в прослойку помещается теплоотражающий экран либо внутренняя поверхность экрана.

В конструкциях вентилируемых наружных стен, выполненных из мелкоштучных строительных материалов (из кирпича и небольших блоков) выполнение сквозных технологических проемов для установки приточных каналов во внутреннем слое - основания стены не вызывает особых трудностей. В железобетонных конструкциях сквозные технологические отверстия могут быть сделаны следующими способами.

В технологические проемы и отверстия устанавливают вентиляционные короба с клапанами, покрываются краской, имеющей низкий коэффициент излучения.

Конструирование наружных стен с организованным воздухообменом для жилых зданий основывается на современных нормах, требующих 3 $м^3$ /ч воздуха на 1$м^2$ жилой площади или 30 $м^3$/ч на одного человека (комнату). Количество воздуха, необходимого для проветривания помещения через вытяжные каналы кухонь и санузлов, может возрасти от 30 до 150 $м^2$/ч. Исходя из изложенного выше, определяется необходимая площадь (F) сечение и количество (n) устанавливаемых приточных каналов в простеночной части конструкции стены в зависимости от площади помещения).

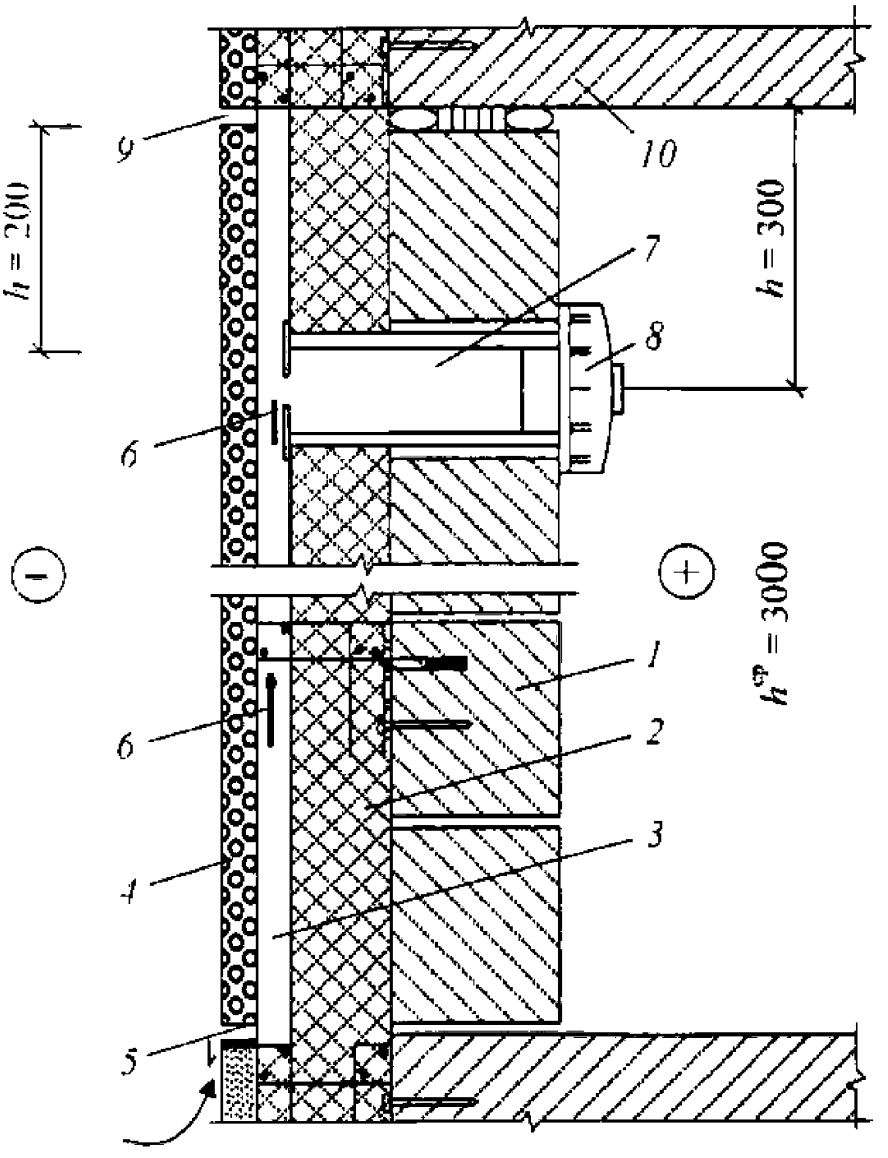


Рис. 2. **Принципиальная конструкция эффективной наружной стены с организованным воздухообменом:**

1 – основание стены; 2 – утеплитель; 3 – вентилируемая прослойка; 4 – экран; 5 – воздухозаборная щель; 6 – движение воздуха; 7 – приточное отверстие; 8 – регулируемый клапан; 9 – воздухоотводящая щель; 10 – междуэтажное перекрытие

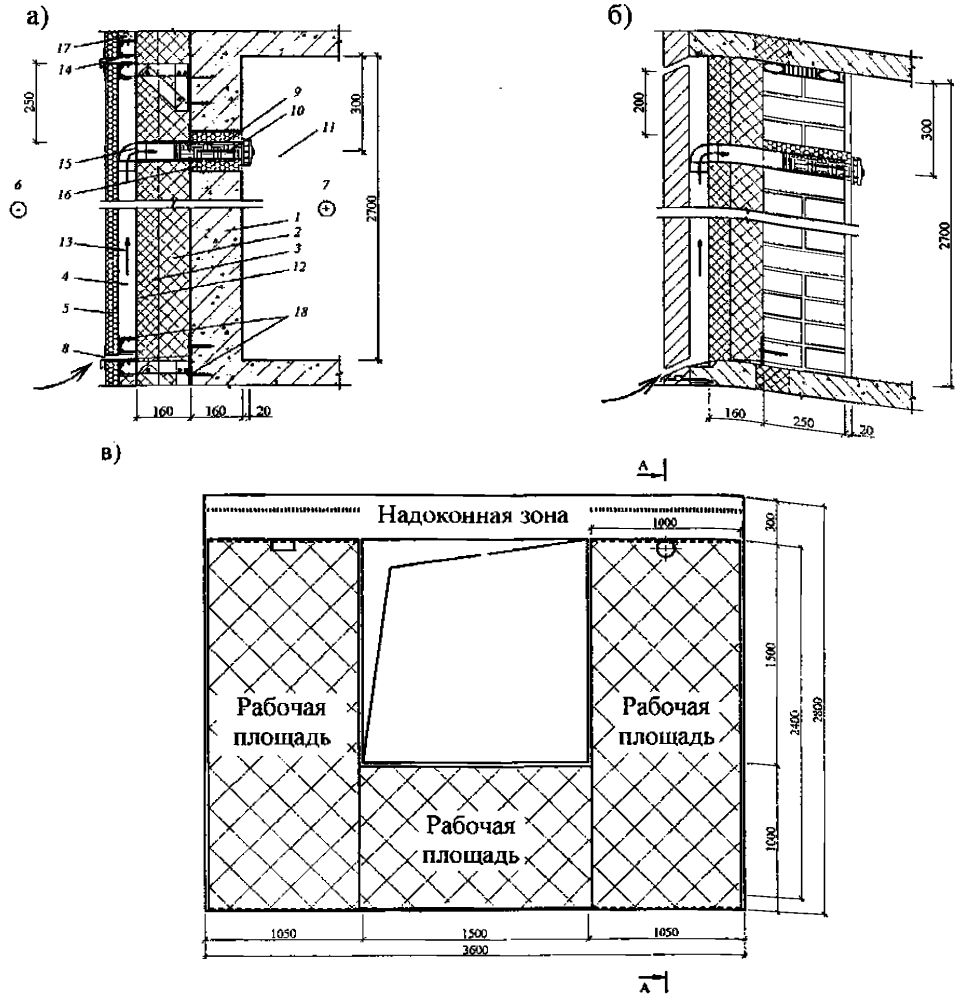


Рис. 3. **Конструктивные варианты наружной стены с организованным воздухообменом и схема расположения расчетных участков и приточного канала в стене:**

а – конструктивный вариант стены с монолитным железобетонным основанием и с утепленным экраном из фасадной теплоизолирующей панели системы «Полиалпан»; *б* – стена с двухслойным основанием из эффективного кирпича и железобетонным экраном; *в* – схема расположения расчетных участков и приточного канала в стене, вид изнутри; 1 – внутренний слой, основание; 2 – утеплитель; 3 – утеплитель, стойкий к ветровой эрозии; 4 – вентилируемая прослойка; 5 – экран; 6 – атмосфера; 7 – помещение; 8 – воздухозаборная щель; 9 – приточный канал; 10 – воздушный фильтр; 11 – регулируемый клапан; 12 – ветрогидрозащитная паропроницаемая мембрана типа Tyvek; 13 – направления движения воздуха; 14 – воздухоотводящая щель наружного слоя (экрана); 15 – система воздуховода; 16 – пенополиуретановый заполнитель; 17 – противопожарная рассечка; 18 – крепежные элементы фасадных систем

Помимо приточного канала, в конструкциях стен, поэтажно, в верхней части экрана рекомендуется установить дополнительные воздуховыводящие щели. Воздуховыводящие щели экрана служат для вывода воздухом избытка тепла из прослойки наружу в летнее время, и устанавливаются выше (не менее 200 мм), чем приточный канал.

При открытых приточных клапанах конструкции в зимний эксплуатационный период нагрузка на отопление уменьшается за счет возвращения части трансмиссионного уходящего тепла фильтрующимся воздухом. По мере закрывания регулирующих клапанов количество воздуха, поступающего в помещение, уменьшается, и воздух начинает поступать традиционным путем, через щели в окнах и форточки.

Толщины экранов, размеры (сечения) воздухозаборных щелей, поперечные сечения воздушной прослойки и каналов, толщина теплоизоляции определяются расчетом в зависимости от климатического района строительства и требуемого воздухообмена помещений. Экран рекомендуется делать утепленным.

Рассмотренные выше рекомендации касаются НОУТ-1 в основном вентиляционных стен. Между тем теплопотери через окна выше, чем через стены. Актуально применение для теплозащиты окон аналогичных решений, основанных на вышеупомянутом эффекте рекуперации теплового потока (рис. 4).

Большие возможности в экономии тепла, уменьшении теплового и воздушного режима помещений, уменьшения проникновения шума открывает разработанная ЦНИИЭП жилища конструкция вентилируемого энергоэкономичного окна, конструкция которого приведена ниже.

Рекомендации по применению вентилируемых окон

В процессе анализа современных техрешений жилых зданий и систем вентиляции выявлены наиболее простые и эффективные методы проветривания, обеспечивающие улучшение воздухообмена и уменьшение отрицательного воздействия радона.

На основе анализа данных экспериментальных исследований разработаны техрешения вентилируемых окон, имеющих вентиляционные устройства.

Оконный блок содержит большую остекленную створку и узкую створку, включающую клапан или форточку. Межстекольное пространство с большой остекленной створкой соединено с узкой посредством отверстия или щели, расположенной в вертикальном импосте (рис. 4). Большая и узкая створки при отсутствии импоста могут быть разделены любым экраном с отверстиями или щелью.

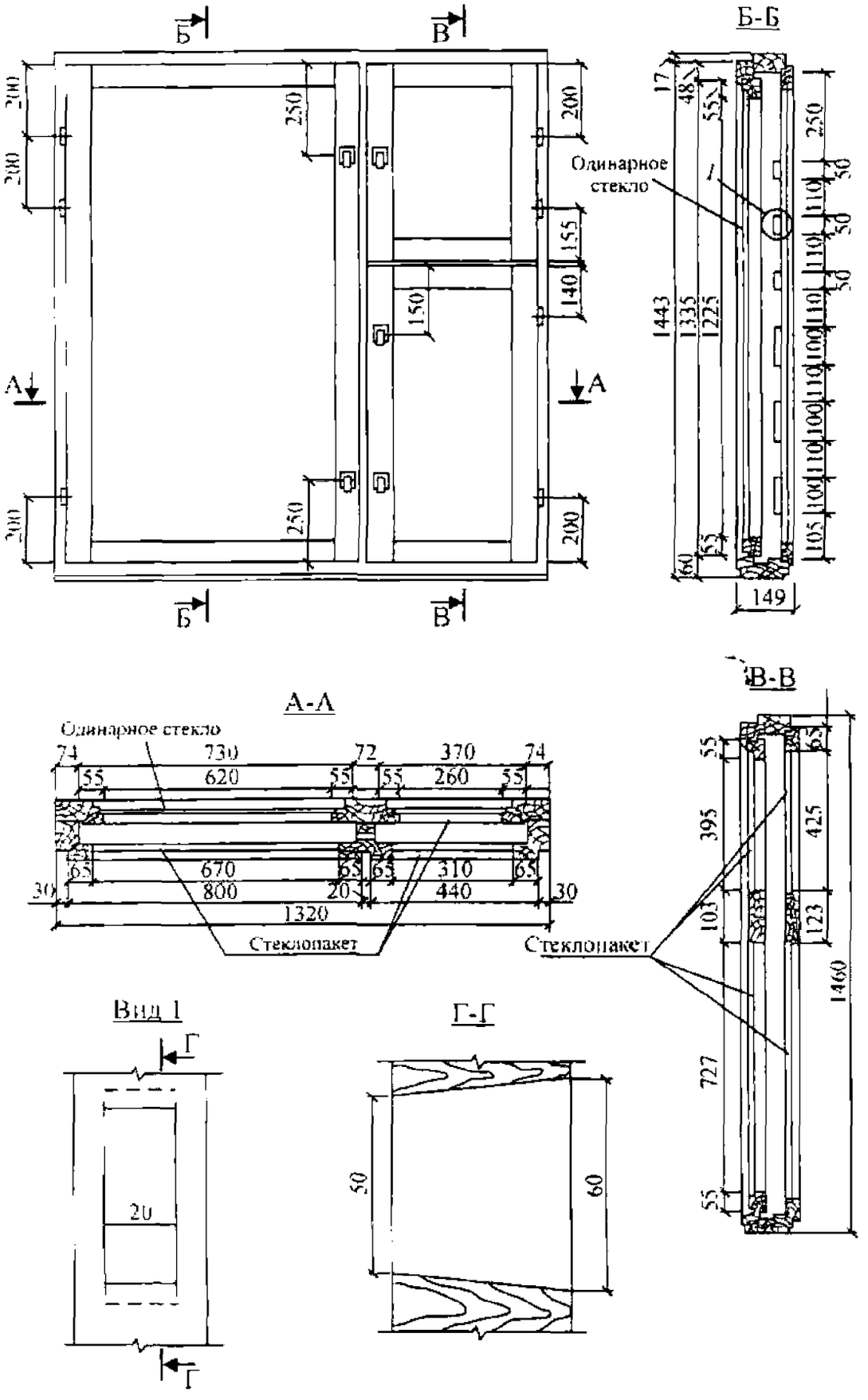


Рис 4. Вентилируемое окно с утилизацией тепла

Вентилируемые клапаны и окна, в которых использовано решение, позволяют обеспечить вентиляцию помещения необходимым количеством прогретого воздуха за счет того, что воздух, проходя по воздушному канал}' и межстекольному пространству, прогревается теплом, идущим из помещения, и поступает через сквозной проем в клапане в помещение. Если температура наружного воздуха позволяет, то клапан открывают.

Задача разработки приточного устройства с частичным подогревом наружного воздуха за счет теплового потока через оконное заполнение (экономайзерный эффект) требует решения комплекса вопросов:

1. Расчет температуры приточного воздуха на выходе из устройства во всем реальном диапазоне температур наружного воздуха и нормируемых расходов воздуха (25 ÷ 60 $м^3$/ч), подкрепленный результатами лабораторных или натурных испытаний.

2. Аэродинамический расчет сопротивлений отдельных участков воздушного тракта с определением требуемой площади отверстий для поступления и выпуска воздуха.

3. Определение параметров воздушной струи в помещении в диапазоне изменения температур и количества наружного воздуха по п.1, которыми характеризуется приемлемость и эффективность рассматриваемого решения.

Конструкция состоит из внутреннего, наружного, светопрозрачных слоев, воздушной прослойки между ними, вентилируемых широкой и узкой створок, разделенных импостом с отверстиями в его нижней половине, сообщающей широкую и узкую створку.

Термическое сопротивление внутренних слоев должно обеспечивать температуру на внутренней поверхности не менее 3°С.

В верхней части внутренней узкой створки имеется воздуховыводящий клапан (форточка). В наружном слое в верхней части узкой створки может располагаться клапан (форточка), которая в зимнее время может быть закрыта. При необходимости клапан (форточка) во внутреннем слое узкой створки открывается на величину, необходимую для воздухообмена. Наружное остекление выполняется с теплоотражающим покрытием или с теплоотражающим экраном.

6.2. Теплотехнический расчет НОРТ-1 (Методика расчета)

Расчет производится в два этапа. Второй этап расчета выполняется, если после первого этапа расчетов не выявится надежность рассматриваемой конструкции в теплотехническом отношении.

На первом этапе для данного конструктивного решения стены назначаются размеры приточных и вытяжных щелей.

Выполняется теплотехнический расчет наружной стены с экраном, при котором определяется необходимая толщина теплоизоляции и условия выполнения санитарно-гигиенических требований к внутренней поверхности стены, принимаемые по методике СП 23-101-2004.

Выполняется расчет влажностного режима стены по методике СП 23-101-2004 с учетом коэффициента паропроницаемости по глади экрана.

При необходимости рассчитывается влажностный режим рассматриваемой конструкции в годовом цикле с учетом средних месячных температур.

Если по результатам расчетов влажностный режим стены удовлетворяет требованиям норм строительной теплотехники, тогда теплотехнический расчет заканчивается на первом этапе.

Если по результатам расчетов влажностный режим стен не удовлетворяет требованиям, то выполняется второй этап расчетов.

Выполняется расчет влажностного режима стен по методике СНиП 23-02-2003 как по глухим частям экранов, так и с учетом стыковых швов.

Оценивается влияние воздухообмена в воздушной прослойке на влажностный режим как по глухой части экранов, так и с учетом стыковых швов. Для этого определяется действительная упругость водяного пара на выходе из воздушной прослойки по формуле:

$$e_y = [\, A + (e_o B - A)\, l^{-(0{,}133Bh/Wb}\,]\, / B \qquad (1)$$

В формуле (1)

$$A = M_{int}\, e_{int} + M_{ext}\, e_{ext}\,; \quad B = M_{int} + M_{ext}\,, \qquad (2)$$

показатели паропроницаемости M_{int} и M_{ext}, мг/м^2 · ч · Па, равны соответственно:

$$M_{int} = 1 / \Sigma R_{int\,s}\,; \quad M_{ext} = 1 / \Sigma R_{ext\,s}\,, \qquad (3)$$

где: h - расстояние по вертикали между горизонтальными швами, служащими для поступления или вытяжки воздуха, м;

W - расход воздуха в воздушной прослойке, кг/м · ч,

определяется по формуле

$$W = 3500 \cdot V \cdot F \cdot \gamma_t \quad (4)$$

$R_{int\,s}$ и $R_{ext\,s}$ - сумма сопротивлений паропроницанию от внутренней поверхности до воздушной прослойки и соответственно от воздушной прослойки до наружной поверхности, м^2· ч · Па/мг;

e_{int} и e_{ext} - действительная упругость водяного пара соответственно с внутренней стороны стены и снаружи, Па;

e_o - упругость водяного пара воздуха, входящего в воздушную прослойку, Па;

F - площадь прослойки;

V - скорость воздуха в прослойке;

$$b = 1{,}058 / (1 + t_{ag}/273) \quad (5)$$

В формуле (1) e_o – действительная упругость водяного пара при температуре входящего в прослойку воздуха (определенной по формуле (10)) и относительной влажности воздуха 85%.

Полученная по формуле (1) величина упругости водяного пара на выходе из воздушной прослойки e_y, Па, должна быть меньше максимальной упругости водяного пара E_y, Па.

Расчет приведенного сопротивления паропроницанию экранов с учетом швов-зазоров производят по нижеприведенным формулам.

Определяют условное сопротивление паропроницанию в стыковых швах

$$R_{vp}{}^{1} = \frac{\delta_s \cdot \Sigma\xi}{0{,}75}, \quad (6)$$

где

δ_s - толщина экрана, м;

$\Sigma\xi$ - суммарная величина местных сопротивлений проходу воздуха.

Определяют сопротивление паропроницанию плит экрана по его глади:

$$R_{vp} = \delta_s / \mu_e, \quad (7)$$

где

δ_s – то же, что в формуле (3);

μ_s - коэффициент паропроницаемости экрана, мг/(м·ч·Па).

Определяют приведенное условное сопротивление паропроницанию экрана с учетом стыковых швов R_{vp}^{r}, м^2·ч·Па/мг, по формуле:

$$R_{vp}^{r} = \Sigma F / (F'' / R_{vp} + F' / R_{vp}'), \quad (8)$$

где

ΣF - суммарная расчетная площадь экрана (принимается 1 м^2);

F'' - площадь экрана без швов, м^2;

F' – площадь открытых швов, м^2.

R_{vp} и R_{vp}' - см. выше.

Если приведенный расчет покажет недопустимое влагонакопление в конструкции стены, то в соответствии с приведенными формулами следует произвести весь комплекс расчетов, подбирая такие параметры конструкции, которые бы удовлетворяли требованиям теплотехнических норм СНиП 23-02-2003 и условию $e_y < E_y$.

Температура воздуха в прослойке на выходе из воздушной прослойки и по ее высоте t_{ag} рассчитывается по формуле

$$t_{ag} = [\, C + (\tau_o\, d - C)\, e^{-3{,}6\, d\, h / C\, W} \,] / d \quad (9)$$

где

$C = K_{int}\ t_{int} + K_{ext}\, t_{ext}$; $d = K_{int} + K_{ext}$;

K_{int} и K_{ext} – коэффициенты теплопередачи внутреннего и наружного слоя стены до середины прослойки, Вт/(м^2·°С);

τ_o – температура входящего в прослойку воздуха по формуле

$$\tau_o = \tau_{int} - 0{,}97\, (t_{int} - t_{ext}) ; \quad (10)$$

h – расстояние по вертикали между горизонтальными швами, служащими для поступления или вытяжки воздуха, м;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

W – то же, что и формуле (4).

При определении термического сопротивления прослойки $R_{пр}$ следует пользоваться формулами

$$R_{пр} = \frac{1}{\alpha_{пр}}, \quad (11)$$

$$\alpha_{пр} = 5{,}5 + 5{,}7 \cdot V_{пр} + \alpha_{л}, \quad (12)$$

где $\alpha_л$ - коэффициент лучистого теплообмена.

Температура входящего в помещение воздуха определяется по формуле:

$$\tau_{вщ} = t_в - \frac{(t_в - t_н) \cdot (k_m \cdot \sqrt{\frac{cw\, R_{ощ}^{пр}}{n \cdot l_щ}} + 1)}{R_{ощ.}^{пр} \cdot \alpha_в} \qquad (13)$$

где $l_щ$ - глубина воздуховыводящей полости;

$R_{ощ.}^{пр}$ - приведенное сопротивление теплопередаче (при $\Delta P=0$) с учетом термического сопротивления воздуховыводящей полости;

$\alpha_в$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности воздуховыводящей полости;

n - коэффициент, равный *3,6* в системе СИ и *1* в технической системе;

$k_m = 0,2$ и 0,25 соответственно при определении температуры выходящего в помещение воздуха и внутреннего угла элемента фильтрации.

6.3. Экспериментальные исследования НОРТ-1

В ЦНИИЭП жилища были определены экспериментальным путем теплотехнические свойства окон со шторами из светотехнической пленки, разработанной ВНИИпластпереработка НПО «Пластик» (рис. 5).

Испытанию подвергалось окно с тройным остеклением в раздельных переплетах (ГОСТ 11214-78) размером 1460х1320 мм с широкой створкой и узкой разрезной створкой. В окне была помещена металлизированная полиэтилен-терефталатная (ПЭТФ) пленка, условно названная серебристой.

Металлизированные пленки могут быть изготовлены с алюминиевым слоем различной толщины, при этом при толщине слоя 0,045÷0,065 мкм интегральное светопропускание пленки в видимой области спектра равно 0, а степень черноты со стороны металла – примерно 0,035-0,04. С уменьшением толщины слоя алюминия до 0,015÷0,01 мкм увеличивается светопропускание пленки (до 0,33-0,43) и степень черноты (примерно до 0,23÷0,6). Для испытания были выбраны пленки, имеющие средние показатели.



Рис. 5. **Опытный образец окна, подготовленный для испытаний:** *а* – вид с холодной стороны; *б* – вид с теплой стороны; 1 – тепломеры; 2 – теплоотражающая пленка

Таблица 1

Оптические свойства примененных пленок

Тип пленки	Толщина пленки, мкм	Толщина слоя алюминия, мкм	Коэффициент свето-пропускания	Степень черноты при tв = 20°С	
				со стороны алюминия	со стороны, обратной алюминию
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Пленка ПЭТФ (серебристая)	20	0,02-0,04	0,093	0,09	0,64

Согласно электромагнитной теории излучения носителями лучистой энергии являются электромагнитные колебания с длиной волны от малых долей микрона до многих километров. К лучам, возникновение которых определяется только температурой и оптическими свойствами излучающего тепла, относятся световые и инфракрасные лучи, длиной волны от 0,4 до 800 мк. Эти лучи называются тепловыми, а процесс их распространения – тепловым излучением или радиацией.

Изменение спектральной интенсивности излучения абсолютно черного тела в зависимости от длины волны и температуры характеризуется законом Планка, по которому с повышением температуры максимум излучения смещается в сторону более коротких волн, Связь между температурой и длиной волны, при которой энергия излучения достигает максимума, устанавливает закон Вина.

Тепловое излучение в помещениях и в ограждающих конструкциях зданий происходит при достаточно ограниченном диапазоне температур и соответствует узкому интервалу изменения длин волн. Поэтому в порядке допущения рассматривались монохроматическое, т.е. состоящее из волн одинаковой длины.

Для упрощения задачи в качестве осредненной принимали длину волны, соответствующую максимальной интенсивности излучения λ_{max}. Ее величина в соответствии с законом Вина равна:

2898

$$\lambda_{max.} = \frac{}{T} \text{ мк.} \qquad (14)$$

Увеличение величин $R_н$, $R_{вп}$, $R_в$ за счет снижения теплопередачи излучением (вследствие уменьшения коэффициента излучения поверхностей стекол) может быть достигнуто размещением теплоотражающей пленки соответственно на наружной поверхности наружного стекла, на одной из поверхностей воздушной прослойки и на внутренней поверхности внутреннего стекла.

Величина $R_н$ - наименьшая из трех составляющих, к тому же она в значительной степени зависит от скорости ветра, поэтому некоторое ее увеличение вследствие уменьшения теплопередачи излучением незначительно скажется на повышении общего сопротивления теплопередаче остекления.

В теплопередаче воздушной прослойки и в теплопереходе у внутренней поверхности весьма существенна доля (60-70%), приходящаяся на излучение, поэтому целесообразно ее уменьшать. Из величин $R_{вп}$ и $R_в$ более рационально, снижая теплопередачу излучением, повышать большую - $R_{вп}$, для чего теплоотражающую пленку следует размещать на одной из поверхностей воздушной прослойки.

Такое расположение пленки целесообразно также потому, что приводит к повышению температуры внутренней поверхности остекления $\tau_в$, в то время как расположение пленки со стороны помещения, повышая $R_в$, приводит к понижению $\tau_в$, что обусловливает образование конденсата на внутренней поверхности окна при более низкой относительной влажности внутреннего воздуха.

Теплопотери вследствие теплопроводности и конвекции при прослойках соответствующей толщины независимо от коэффициентов излучения их поверхностей постоянны. Теплопотери же излучением при уменьшении коэффициента излучения одной поверхности уменьшаются значительно. При уменьшении коэффициента излучения и второй поверхности теплопотери излучением уменьшаются лишь до 17 $Вт/м^2 \cdot °К^4$, что свидетельствует о сравнительно небольшом эффекте применения дополнительно внутреннего и наружного теплоотражающих стекол.

Принципиальным отличием методики испытаний вентилируемых окон с рекуперацией тепла от обычных является обязательное наличие тепломеров на наружной поверхности для замеров уходящих тепловых потоков, т.к. тепловой эффект этих стен заключается в возвращении в помещение части уходящего тепла.

Если оценивать теплозащиту наружного ограждения только по внутреннему

тепломеру, то при фильтрации через него холодного воздуха приведенное сопротивление теплопередаче $R_{ов}^{r}$ будет уменьшаться и тем более, чем больше расход воздуха, т.к. $R_{ов}^{r} = \Delta t/Q_{в}^{вх}$.

При замерах теплозащиты вентилируемых ограждений с управляемым воздухообменом и возвращением тепла обратно в помещение наблюдается обратная картина при замерах тепломером, установленным с наружной стороны ограждения.

При фильтрации воздуха вдоль прослойки уходящий тепловой поток замеренный наружным тепломером $Q_{н}^{вых}$ уменьшается тем более, чем больше расход воздуха. Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{оп}^{r}$, рассчитанное по наружному тепломеру, увеличивается, поскольку $R_{он}^{r} = \Delta t/ Q_{н}^{вых}$.

В обычной стене (окне) суммарный расход тепла складывается из трансмиссионного теплового потока, выходящего через стену (окно) ($Q_о$) и затрат тепла на нагрев воздуха, требуемого для естественной вентиляции:

$$Q_о^{с} = Q_о + Q_i, \qquad (15)$$

где Q_i – расход теплоты, Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха следует определять по формуле:

$$Q_i = 0{,}28 \cdot \Sigma W \cdot c \cdot (t_в - t_н), \qquad (16)$$

где W – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через конструкцию окна;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

$t_в$, $t_н$ – расчетные температуры воздуха, °С, соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года (параметры Б).

В вентилируемой стене (окне) суммарный расход тепла при фильтрации воздуха через окно ($Q_u^{с}$) складывается из входящего теплового потока ($Q_u^{вх}$) и дополнительных затрат тепла ($Q_u^{д}$) на нагрев инфильтрующегося воздуха от температуры выходящего воздуха ($t_{вых}$) до температуры внутреннего воздуха ($t_в$):

$$Q_u^{с} = Q_u^{вх} + Q_u^{д} \qquad (17)$$

где $Q_u^{д} = c \cdot W \cdot (t_в - t_{вых})$

Входящий тепловой поток можно выразить через выходящий тепловой поток:

$$Q_u^{вх} = Q_u^{вых} + Q_u^{э}$$

где $Q_u^{э}$ – теплозатраты на нагрев инфильтрующегося воздуха в прослойке – экономайзерный эффект инфильтрации.

За счет этого эффекта выходящий через наружный слой тепловой поток в вентилируемой стене (окне) значительно меньше, чем в невентелируемом:

$Q_u^э = c \cdot W \cdot (t_{вых} - t_н)$

(18)

После подстановки приведенных формул в значение $Q_u^{сх}$ получим:

$$Q_u^c = Q_u^{вых} + c \cdot W \cdot (t_в - t_н) \cdot k_c, \quad (19)$$

Теплотехнические испытания окон выполнялись в лабораторных условиях в климатической камере (рис. 6). В стене, разделяющей камеру на теплое и холодное отделения, устанавливалось окно. Испытания проводились в два этапа. На первом этапе окна испытывались в стандартном варианте без пленки, а на втором – то же окно, но со светотехнической пленкой. Температурный режим был постоянным: температура воздуха в холодном отделении равнялась -20°С, температура в теплом отделении климатической камеры +20°С. Испытания проводились при отсутствии фильтрации и при инфильтрации воздуха через окна.

Перед этими испытаниями определялась воздухопроницаемость (расход воздуха) через окно при закрытой и открытой внутренней форточке (см. рис. 7).

Первым способом определения термических характеристик опытных конструкций является способ определения тепловые потоков с помощью тепломеров.

Полученные по первому способу R_o^r окна составляло при отсутствии воздухообмена 0,54-0,65(* м^2·°С/Вт при отсутствии пленки и 0,95÷0,99(* м^2·°С/Вт при ее наличии. Таким образом, применение пленки повышает приведенное сопротивление теплопередаче оконного блока в 1,5÷1,76 раза.

Второй способ основан на определении приведенного сопротивления теплопередаче оконного блока по температурам внутреннего и наружного воздуха и интегральному тепловому потоку, соответствующему расходу электроэнергии, компенсирующей теплопотери через окно.

Второй способ дает возможность, определив по расходу электроэнергии, компенсирующей теплопотери через все ограждения, интегральный тепловой поток, вычислить приведенное сопротивление теплопередаче окна.

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_o^{пр}$, м^2·°С/Вт, при испытаниях вентилируемых окон с учетом расхода тепла на компенсацию теплопотерь через опытные образцы с помощью электросчетчика определяли по формуле

$$R_o^{пр} = \frac{t_в^к - t_н}{q^{пр}},$$

*) Вторая цифра – приведенное сопротивление теплопередаче с учетом всех элементов окна, а первая цифра – только по стеклу.

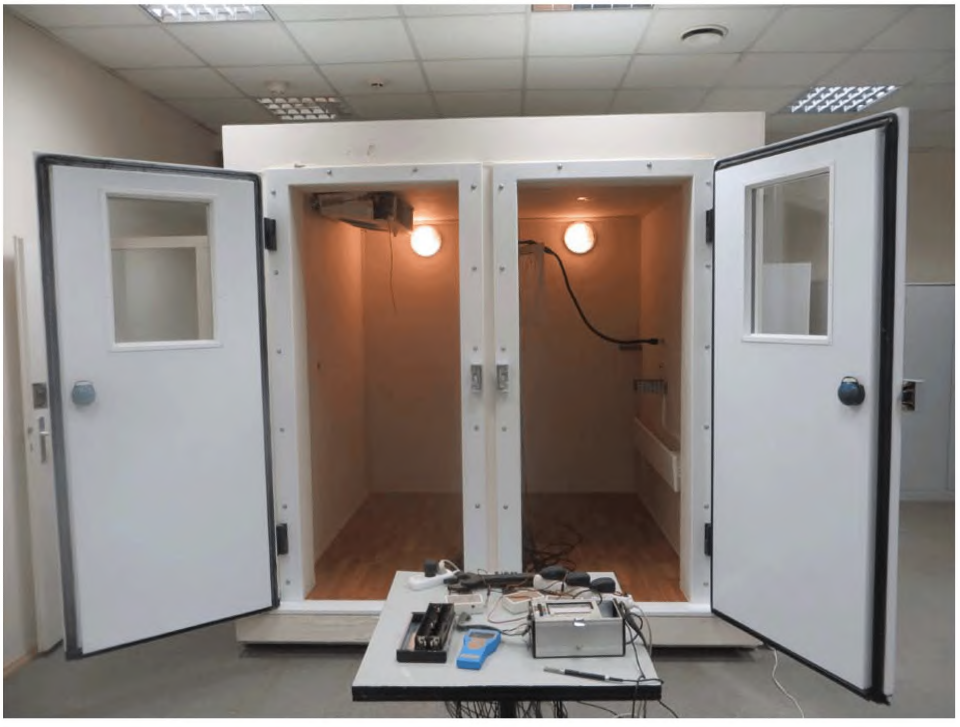




Рис. 6. **Камера для теплофизических испытаний:**
а – внутренний вид; *б* – наружный вид; 1 – электросчетчик; 2 – вентилятор; 3 – микроманометр; 4 – теплое отделение; 5 – холодное отделение

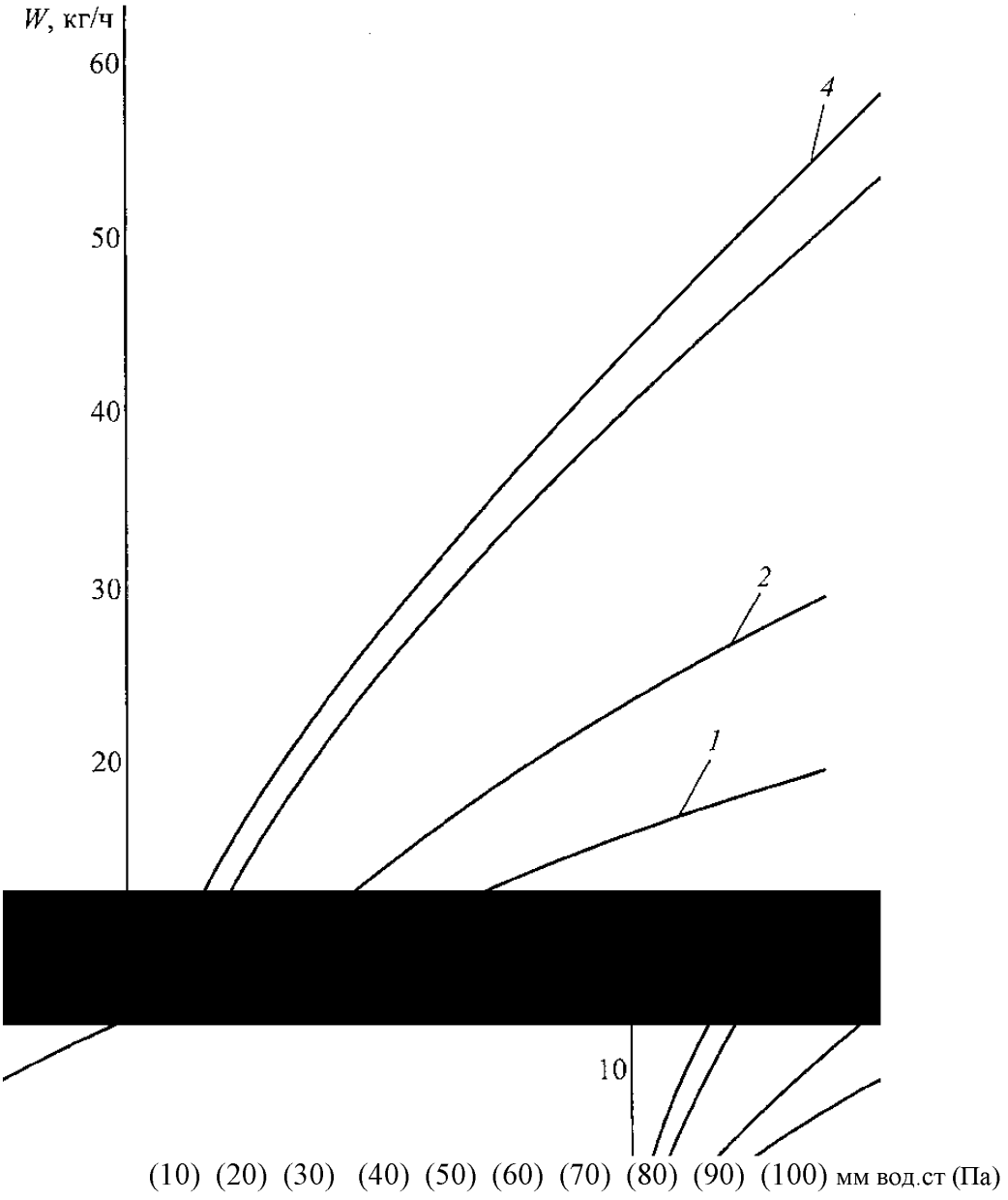


Рис.7. Изменение расхода воздуха в зависимости от разности давлений для вентилируемого окна:
Режим 1. Внутренняя форточка закрыта.
Режим 2. Внутренняя форточка открыта (на 1 см), в импосте все отверстия закрыты, кроме одного нижнего

где

$t_в$, $t_н$ - температуры воздуха во вспомогательной камере и в холодном отделении климатической камеры, °С;

$q^{пр}$ - приведенный тепловой поток, Вт/м^2, определяемый по формуле

$$q^{пр} = \frac{\frac{a_2 - a_1}{n} - \frac{(t_в^к - t_н)\,\lambda_м}{\delta_м} \cdot f_м}{F_о},$$

где

a_1, a_2 – показания электросчетчика в начале и в конце испытания, Вт;

n - продолжительность испытаний, ч;

$\lambda_м$ – теплопроводность теплоизоляционного материала, Вт/(м^2·°С);

$\delta_м$ – толщина слоя теплоизоляционного материала, м;

$f_м$ – площадь поверхности теплоизоляционного материала;

$F_о$ – площадь испытываемого образца, м^2.

Окно испытывалось как при наличии фильтрации вдоль прослойки, так и без нее. Для обеспечения продольной вентиляции и определения эффекта рекуперации открывалась внутренняя форточка (наружная была закрыта) на 1 см.

Приведенные сопротивления теплопередаче окон составляли 0,65 м^2·°С/Вт при отсутствии пленки и 0,99 м^2·°С/Вт при ее наличии, т.е. применение металлизированной пленки повышает без вентиляции окна сопротивление теплопередаче в 1,8 раза.

Вентиляция воздушной прослойки при наличии теплоотражающей пленки существенно повышает условное сопротивление теплопередаче окна (по наружному тепломеру). При инфильтрации было определено условное сопротивление оконного блока, необходимое для подсчета полных теплопотерь за счет трансмиссионной теплопередачи и за счет нагрева инфильтрующегося воздуха. Установлено, что при наличии продольной фильтрации воздуха при его сопоставимых расходах $R_о^{усл}$ окна с пленкой более $R_о^{усл}$ окна без пленки в 2 раза.

В табл. 2 на рис. 8 и показано изменение выходящего измеренного теплового потока (по наружному тепломеру) и приведенного сопротивления теплопередаче в зависимости от расхода воздуха через вентилируемую воздушную прослойку окна при наличии и отсутствии теплоотражающей пленки.

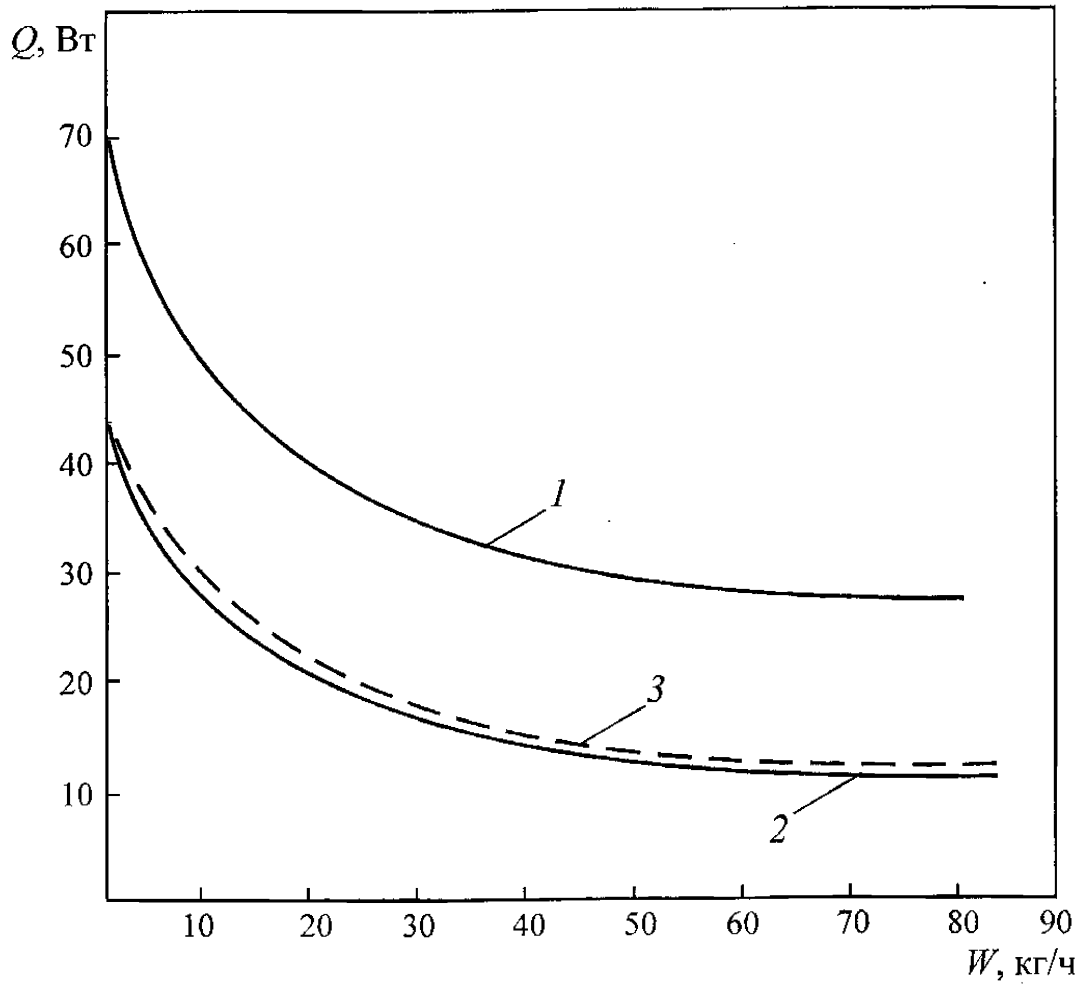


Рис. 8. **Изменение теплового потока, уходящего от наружной поверхности вентилируемого окна $Q_{вых}$ (*а*) и посчитанное по его величине условное сопротивления теплопередаче (по остеклению) R_o^r (*б*) в зависимости от расхода воздуха вдоль воздушной прослойки:**
1 – без теплоотражающей пленки; 2 – при наличии теплоотражающей пленки в наружной прослойке

Таблица 2

Значения осредненных термических характеристик вентилируемого энергосберегающего окна

W, кг/ч / м³/ч	Q по стеклу, выходящий по тепломерам, Вт	Δt, °С	$Q_{тр}$ по элек. счетчику, кВт	R_o по стеклу, м² °С/Вт	R_o^r приведенное по всему окну м² °С/Вт	Наличие тепло-отража-ющего экрана -, +	Форточка закрыта (-) открыта (+) (на 1 см)
2	3	4	5	6	7	8	9
17 / 13	32	38,5	0,26	1,2	1,15	-	+
24 / 18,5	35	38	0,33	1,085	1,05	-	+
62 / 40	25,5	38	0,38	1,49	1,25		
43 / 33	35	33	0,48	0,99	0,97	-	+
18 / 14	43	38	0,27	0,89	0,9	-	+
48 / 37	36	37	0,58	1,03	1,01	-	+
-	70	39	0,085	0,55	0,65	-	-
-	44	39	0,075	0,95	0,95	+	-
17 / 13	19,8 (17)	39	0,25	1,96 (2,3)	1,54 (1,68)	+	+
95 / 73	10 (7,8)	37	1,13	3,7 (4,75)	2,14 (2,37)	+	+
42 / 31	14 (12)	40	0,53	2,85 (3,3)	1,9 (2,05)	+	+

1) – под чертой в м³/ч;

2) – в скобках по электросчетчику;

3) – по деревянным частям ≈20 Вт, за пределами образца 20-30 Вт;

4) – площадь остекления ≈ 1 м².

Как видно на рис. 8 и табл. 2 при сопоставимых расходах воздуха максимальное условное приведенное сопротивление теплопередаче для вентилируемого окна с теплоотражающей пленкой с учетом всех элементов окна составляет R_o^r = 2,05÷2,85 м²°С/Вт, а без пленки R_o^r = 0,97÷0,99 м²°С/Вт, т.е. в 2,5 раза больше с теплоотражающей пленкой.

7. Наружные ограждения с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного тепла (НОРТ-2, НОРТ-п)

7.1. Рекомендации по применению НОРТ-2, НОРТ-п

Ограждение (рис. 9) состоит из наружного слоя 1, внутреннего слоя 2, герметичной перегородки 3 с переменным по высоте коэффициентом теплопередачи, увеличивающимся к ее верху, приточного канала 4 и вытяжного канала 5 (разделенных перегородкой 3), с приточными отверстиями 6 и 7 и вытяжными 8 и 9. Ограждение снабжено дополнительными перегородками 10 и 11. Перегородка 10 установлена в приточном канале с зазором 12 относительно верха ограждения для прохождения наружного воздуха, перегородка 11 – в вытяжном канале 5 с зазором 13 относительно верха ограждения, для прохождения воздуха из помещения.

Принцип работы (НОРТ-2) стен с двойным движением воздуха следующий: нагретый воздух из помещения поступает в прослойку конструкции, соединенную с атмосферой; в это же время наружный воздух поступает в помещение по смежной прослойке, отделенной от первой перегородкой с высоким коэффициентом теплопередачи. При этом тепло уходящего воздуха передается приточному.

НОРТ-п характерны тем, что в отличие от предыдущих конструкций воздух в них может проходить через несколько вентилируемых прослоек – как в одном, так и в разных направлениях.

В НОРТ-2 и НОРТ-п воздух, поступающий из помещения, должен иметь низкое влагосодержание, определяемое расчетом.

При разработке конструкций энергоэффективных наружных стен с организованным воздухообменом экономически целесообразным вариантом будет тот, который позволит пропускать максимально возможное количество фильтрующего воздуха, через приточные каналы, не вызывая при этом переохлаждения внутренней поверхности конструкции.

Приточные отверстия 6 и 7 и вытяжные отверстия 8 и 9 максимально приближены друг к другу и разделены перегородками 14 и 15.

Если ограждения выполнено в виде легкой навесной панели на деревянном каркасе слои наружный 1 и внутренний 2 соединены между собой брусками обвязки, а пазы, между которыми вставлена перегородка 3, уплотнены герметиком. Слои наружный 1 и внутренний 2 притянуты к брускам шурупами. В местах примыкания слоев 1 и 2 к брускам обвязки проложен герметик.

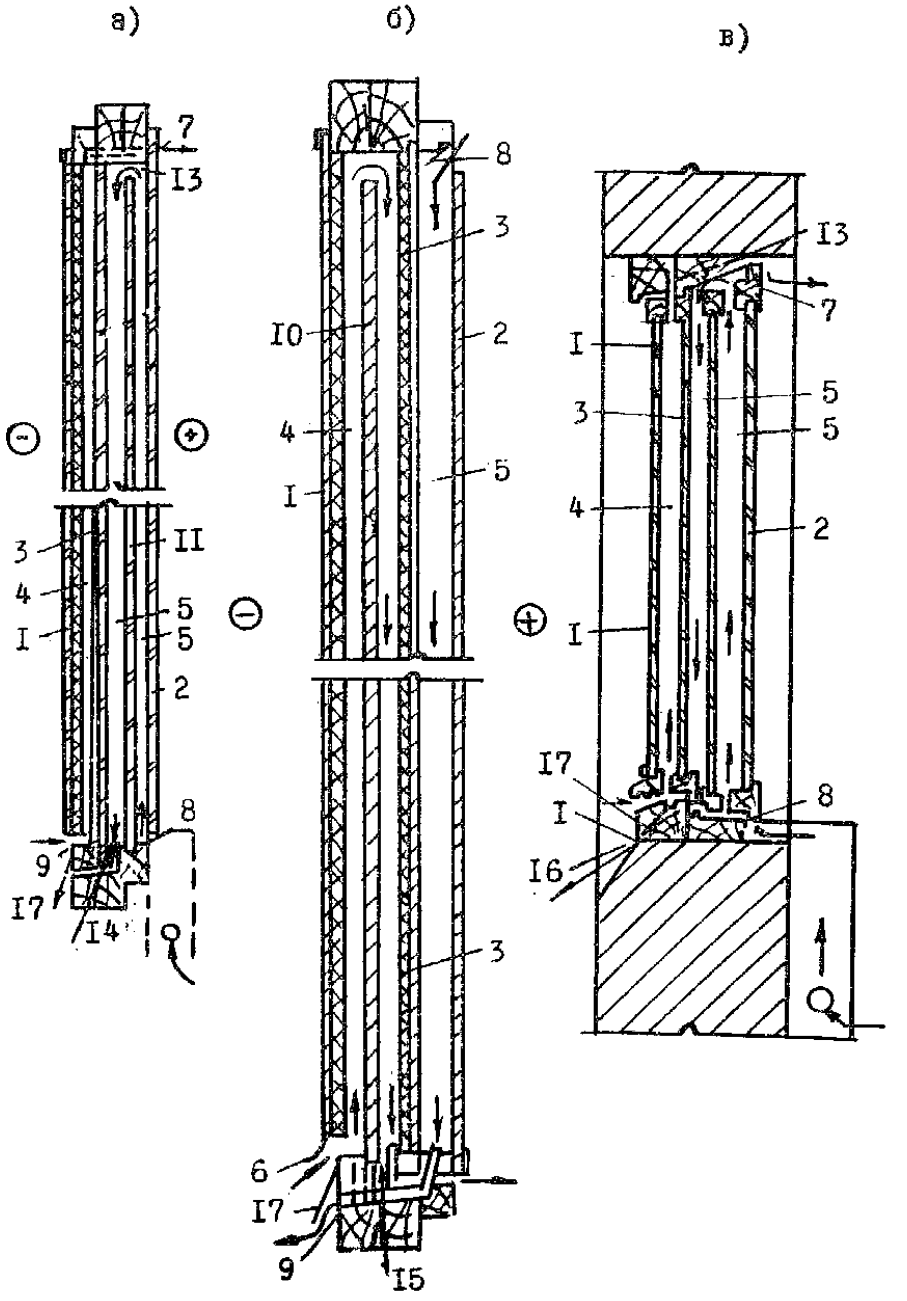


Рис. 9. **Схема наружного ограждения с многократным движением воздуха:** *а* – с перегородкой в приточном канале; *б* – с перегородкой в вытяжном канале; *в* – окно с перегородкой в вытяжном канале; 1 – наружный слой; 2 – внутренний слой; 3 – перегородка; 4 – приточный канал; 5 – вытяжной канал; 6, 7 – приточные отверстия; 10-12 – перегородки; 13 – зазор; 14, 15 – перегородки; 16 – конденсатоотводы; 17 - клапаны

Вытяжной канал 5 через вытяжные отверстия 8 может быть соединен с вентилятором, выталкивающим воздух из помещения, а приточный канал 4 через приточные отверстия 6 – с вентилятором, нагнетающим воздух в помещение.

Возможны также варианты, когда оба вентилятора работают одновременно или когда используются конструкции без вентилятора. В этом случае в вытяжных отверстиях 8 и 9 установлены клапаны. Каналы приточный 4 и вытяжной 5 в нижней части через патрубки соединены с конденсатоотводами 16. Клапаны 17 предусмотрены для того, чтобы исключить проникновение холодного воздуха в помещение через конденсатоотводы.

Возможен вариант ограждения с перегородкой в вытяжном канале или перегородкой в приточном канале и т.д.

В случае, когда ограждение выполнено в виде окна, его конструкция аналогична и может иметь перегородки, как в вытяжном, так и в приточном канале. Особенности такого ограждения в том, что все перегородки прозрачны, за исключением перегородки, которая может быть выполнена в виде жалюзи, для аккумуляции солнечного тепла, открывающихся в дневное время и закрывающихся в ночное.

Наиболее проста, хотя менее энергоэкономична, конструкция, имеющая только два канала - приточный и вытяжной, без дополнительных перегородок. При этом движение воздушных потоков может быть как попутным, так и встречным.

Работа ограждения состоит в следующем. За счет разности давления между помещением и атмосферой наружный воздух через приточные отверстия попадает в приточный канал, перемещается вдоль перегородки вниз, проходит через зазор и поднимается между перегородками вверх, выходя через отверстия в помещение.

Отработанный воздух из помещения через вытяжные отверстия поступает в вытяжной канал, перемещается вдоль перегородки вверх через зазор вниз между перегородками, выходя в атмосферу через отверстия. При движении по приточному каналу наружный воздух частично нагревается через перегородку до нужной температуры. Как холодный наружный воздух, так ц теплый воздух из помещения за счет дополнительных перегородок совершает двойной путь по приточному и вытяжному каналам, при этом интенсивно нагреваясь или отдавая тепло.

При выходе в помещение из приточного канала 4 нагретый воздух дополнительно подогревается в выходном патрубке, так как патрубок примыкает к вытяжному каналу, а холодный воздух подогревается воздухом, выходящим из патрубка.

Конденсат, образующийся на поверхностях перегородок, через патрубки сбегает в конденсатоотводы 16.

Наружное ограждение позволяет эффективно использовать тепло отводимого из помещения воздуха и за счет этого снизить тепло-потери.

7.2. Теплотехнический расчет (НОРТ-2, НОРТ-п). Методика и пример расчета

Ранее в [1, 2] опубликованы методы расчета наружных ограждающих конструкций с двойным однонаправленным и встречным движением воздуха, как по двум, так и по трем воздушным прослойкам (см. рис. 1). Методы расчета конструкций по схемам а, б, в, г с двойным встречным движением приведены также в [2, 3].

Тепловой расчет НОУТ-2 при однонаправленном (см. рис.1, *б*) и встречном (см. рис.1, *в*) движениях воздуха в параллельных каналах производится следующим образом.

Случай на рис. 1, *б*:

$$t_1(x) = A_1 e^{s1x} + A_2 e^{s2x} + T_1; \tag{20}$$

$$t_2(x) = B_1 e^{s1x} + B_2 e^{s2x} + T_2; \tag{21}$$

$$C_1 = \frac{[(S_2 - d)\,(t_{02} - T) + c\,(T_1 - t_{01})]\,(d - c_1)}{c\,(S_1 - S_2)} \tag{22}$$

$$C_2 = \frac{[(S_1 - d)\,(t_{02} - T_2) + c\,(T_1 - t_{01})]\,(S_2 - d)}{c\,(S_1 - S_2)} \tag{23}$$

$$S_{1,2} = \frac{a + d}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a + d}{2}\right)^2 - (ad - bc)} \tag{24}$$

Для частного решения исходной системы при $t_1 = T_1$; $t_2 = T_2$

$$T_1 = \frac{bf - cd}{ad - bc}; \quad T_2 = \frac{cl - af}{ad - bc} \tag{25}$$

В формулах (22)÷(25) для однонаправленного движения

$$a = -\frac{k_{int} + k_{ср}}{W_1 c};\quad b = \frac{k_{ср}}{W_1 c};\quad c = \frac{k_{ср}}{W_2 c};$$

$$d = -\frac{k_{ext} + k_{ср}}{W_2 c};\quad l = \frac{k_{int} t_{int}}{W_1 c};\quad f = \frac{k_{ext} t_{ext}}{W_2 c}. \tag{26}$$

Случай по рис. 1, *б*:

$$c = -\frac{k_{ср}}{W_2 c};\quad f = -\frac{k_{ext} t_{ext}}{W_2 c};\quad d = \frac{k_{ext} + k_{ср}}{W_2 c}.$$

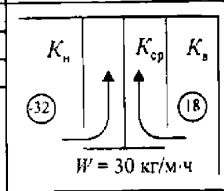
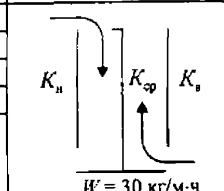
Температура определяется по той же формуле, что и для случая б, а C_1 и C_2 – по формулам:

$$C_1 = \frac{(S_1 - d)\,[(t_{02} - T_2)\,(S_2 - d) + c e^{s2h}\,(T_1 - t_{01})]}{c\,[S_2 e^{s1h} - S_1 e^{s2h} + d\,(e^{s2h} - e^{s1h})]} \tag{27}$$

$$C_2 = \frac{(S_2 - d)\,[(T_2 - t_{02})\,(S_1 - d) + c e^{s1h}\,(t_{01} - T_1)]}{c\,[S_2 e^{s1h} - S_1 e^{s2h} + \mathrm{d}\,(e^{s2h} - e^{s1h})]} \tag{28}$$

По вышеприведенным формулам определены изменения температур в воздушных прослойках при попутном и встречном движении воздуха по параллельным внутренней и наружной прослойкам на различном удалении от входа (табл. 3).

Таблица 3

№ п/п	$K_н$	$K_{ср}$	$K_в$	t_2	t_1	Расстояние от входа h, м	Схема движения воздуха
1	0,89	10,4	6,1	–0,67	4,87	2	
2	1	1	1	–22,4	8,42	2	
3	0,5	1	1	–22	8,26	2	
4	0,5	10	1	–6,34	–4,42	2	
5	0,5	1	10	–21	13,7	2	
6	1	1	1	–17,4	18	0	
7	1	1	1	–23,5	9,5	2	
8	1	1	1	–27,4	6,2	3	
9	1	1	1	–32	3,1	4	

Как видно в табл. 3, при равных значениях коэффициентов теплопередачи (п. 2) и расхода воздуха (30 кг/ч) на расстоянии от входа 2 м при попутном движении воздуха в наружной прослойке нагревается на 9,6°С, а во внутренней охлаждается на 9,6°С при начальной наружной температуре минус 32°С, внутренней 18°С.

При встречном движении (п. 7) при таких условиях в наружной прослойке воздуха нагревается на 8,5°С, а охлаждается на 8,5 °С, т.е. при попутном движении эффект использования тепла больше на 15%.

Метод расчета НОУТ-п с многократным движением воздуха приведен в [2] (в главе 3).

Пример теплотехнического расчета вентилируемых ограждений с двойным движением воздуха

Для получения методики расчета вентилируемых ограждений с двойным движением воздуха необходимо получить решение уравнений теплового баланса участка ограждения.

Составляем уравнение баланса тепла для ограждения с двумя воздушными прослойками. По наружной фильтруется воздух W_2 с температурой t_2, по внутренней воздух W_1 с температурой t_1. Первоначальная температура воздуха, поступающего в наружную прослойку τ_{c2}, а во внутреннюю τ_{c1}.

Коэффициент теплопередачи внутреннего слоя – $K_в$, наружного $K_н$, среднего, разделяющего прослойки - $K_{ср}$. Воздух имеет постоянную теплоемкость С. Температура воздуха в помещении $t_в$, а снаружи $t_н$.

Уравнение баланса тепла будет:

$$W_1 C\, dt = K_в (t_в - t_1)\, dx - K_{ср} (t_1 - t_2)\, dx \qquad (29)$$
$$W_2 C\, dt = -K_{ср} (t_1 - t_2)\, dx - K_н (t_2 - t_н)\, dx$$

Приводим к нормальному виду, деля на dx и приводя подобные члены:

$$\begin{cases} t_1^1 = -\dfrac{K_в - K_{ср}}{W_1 C} t_1 + \dfrac{K_{ср}}{W_1 C} t_2 + \dfrac{K_в t_в}{W_1 C} \\ t_2^1 = \dfrac{K_{ср}}{W_2 C} t_1 - \dfrac{K_{ср} - K_н}{W_2 C} t_2 + \dfrac{K_н t_н}{W_2 C} \end{cases} \qquad (30)$$

$$\begin{cases} t_1^1 = -\dfrac{K_в + K_{ср}}{W_1 C} t_1 + \dfrac{K_{ср}}{W_1 C} t_2 \\ t_2^1 = \left(-\dfrac{K_{ср} + K_н}{W_2 C}\right) t_2 + \dfrac{K_{ср}}{W_2 C} t_1 \end{cases} \qquad (31)$$

Введем обозначение для характеристического уравнения этой системы:

$$\begin{cases} t_1^1 = A_1 \, l^{p1x} \qquad t_1^{(2)} = A_2 \, l^{p2x} \\ t_2^1 = B_1 \, l^{p1x} \qquad t_2^{(2)} = B_2 \, l^{p2x} \end{cases} \qquad (32)$$

$$a = -\frac{K_в + K_{ср}}{W_1 C}; \; в = \frac{K_{ср}}{W_1 C}; \; c = \frac{K_{ср}}{W_2 C}; \quad d = -\frac{K_{ср} + K_н}{W_2 C} \qquad (33)$$

Тогда характеристическое уравнение имеет вид:

$$P^2 - (a + d) P + ad - bc = 0 \qquad (34)$$

Корни характеристического уравнения:

где $$P_{1,2} = \frac{a + d}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a + d}{2}\right)^2 - (ad - bc)} \qquad (35)$$

Постоянные: A_1, B_1, A_2, B_2 определяются из систем:

$$\begin{cases} A_1 (a - P_1) + вB_1 = 0, \qquad A_2 (a - P_2) + вB_2 = 0 \\ A_1 C + (d - P_1) B_1 = 0, \qquad A_2 C + (d - P_2) B_2 = 0 \end{cases} \qquad (36)$$

Обозначив:

$$l = \frac{K_в t_в}{W_1 C}, \qquad f = \frac{K_н t_н}{W_2 C} \qquad (37)$$

будем искать решение в виде двух постоянных $t_1 = T_1$ и $t_2 = T_2$.

Эти постоянные подставленные в (30) дают систему:

$$\begin{cases} aT_1 + вT_2 + l = 0 \\ cT_1 + d_2 T_2 + f = 0 \end{cases} \qquad (38)$$

Решение системы имеет вид:

$$\begin{cases} \tau_1 = T_1 + A_1 l^{p1x} + A_2 l^{p2x} \\ \tau_2 = T_2 + B_1 l^{p1x} + B_2 l^{p2x} \end{cases} \quad (39)$$

Вдали от входных отверстий температура как подтверждается расчетом остается неизменной.

Для этого случая решая в общем виде систему (38), получим для $T_1 = \tau_1$; $T_2 = \tau_2$ выражение (по правилу Крамера)

$$\tau_1 = \frac{\begin{vmatrix} l & b \\ f & d \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} = \frac{K_в (K_{ср} + K_н) t_в + K_{ср} K_н t_н}{K_в K_н + (K_в + K_н) K_{ср}} = \frac{(R_{он} + R_{оср}) t_в + R_{ов} t_н}{R_{оср} + R_н + R_{ов}} \quad (40)$$

$$\tau_2 = \frac{\begin{vmatrix} a & l \\ c & f \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}} = \frac{K_н (K_{ср} + K_l) t_н + K_в K_{ср} t_в}{K_в K_н + (K_в + K_н) K_{ср}} = \frac{(R_{оср} + R_{ов}) t_н + R_{ов} t_в}{R_{оср} + R_{он} + R_{ов}} \quad (41)$$

Пример пользования полученным решением.

Дано: жилой дом с наружными стенами из легких навесных панелей с двойной циркуляцией воздуха, имеющий внутренний и наружный защитные слои из асбестоцемента толщиной 0,01 м, наружный слой утеплителя толщиной 0,05 м из минераловатных плит.

Наружный приточный воздух по наружному каналу попадает в помещение, а вытяжной по внутреннему каналу выходит наружу.

Теплообмен между приточным и вытяжным воздухом происходит через герметичную перегородку, имеющую коэффициент теплопередачи $K_{ср} = 9$.

Коэффициент теплопередачи внутреннего слоя $K_в = 5{,}26$, наружного $K_н = 0{,}77$. Расход воздуха по прослойке 36 кг/м^2 · ч. Расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха $t_в = 18°C$, $t_н = -26°C$. Температура входящего во внутреннюю прослойку воздуха $t_{о\,(1)} = 18°C$, входящего в наружную прослойку $t_{о\,(2)} = 5°C$. Требуется определить максимальную температуру вытяжного и приточного воздуха на расстоянии $l = 3$ м от входных отверстий, возможный нагрев и охлаждение приточного

и вытяжного воздуха.

Решение

Решая однородную систему (31)

$$a = -\frac{5{,}26 + 9}{36 \times 0{,}24} = -1{,}65;\ b = \frac{9}{36 \times 0{,}24} = 1{,}04;\ c = \frac{9}{36 \times 0{,}24} = 1{,}04;\ d = -\frac{9 + 0{,}77}{36 \times 0{,}24} = -1{,}13$$

$$t_1^1 = 1{,}65\ t_1 + 1{,}04\ t_2$$

$$t_2^1 = 1{,}04\ t_1 - 1{,}13\ t_2 \qquad (31^1)$$

Характеристическое уравнение

$$P^2 + 2{,}78p + 0{,}78 = 0 \qquad (34^1)$$

Дискриминант уравнения

$$P = (a - d)^2 + 4\,вс = 0{,}52^2 + 4{,}4 = 4{,}61 > 0$$

Определяем постоянные по (36)

$$\begin{cases} A_1 (a - P_1) + в\, B_1 = 0 \\ A_1\, C + (d - P_1)\, B_1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{vmatrix} a - P_1 & в \\ c & d - P_1 \end{vmatrix} = P_1^2 - (a + d)\, P_1 + ad - вс = 0$$

Равенство нулю определителя системы (36) означает, что первые уравнения этих систем пропорциональны вторым

$$A_1 (a - P_1) + в\, B_1 = \lambda_1 [A_1 C + (d - P_1)\, B_1]$$

$$A_2 (a - P_2) + в\, B_2 = \lambda_2 [A_2 C + (d - P_2)\, B_2]$$

здесь либо $A_1 (a - P_1) + в\, B_1 = 0$, либо $A_1 C + (d - P_1)\, B_1 = 0$

Из этих уровней можно определить лишь отношение A_1/B_1, или выразить

$$A_1 = -\frac{в}{a - P_1} B_1$$

Для определения второй постоянной используем начальные исходные данные:

(Решение получено с точностью до постоянной):

$$A_1 (-1{,}65 + 0{,}32) + 1{,}04\ B_1 = 0, \qquad B_1 = \frac{1{,}33}{1{,}04} A_1 = 1{,}28\ A_1$$

$$A_2 (-1{,}65 + 2{,}47) + 1{,}04\ B_2 = 0, \qquad B_2 = \frac{0{,}82}{1{,}04} A_2 = -0{,}788\ A_2$$

Общее решение однородной системы (31) имеет вид:

$$\tau_1 = A_1 l^{-0,32x} + A_2 l^{-2,47x}$$
$$\tau_2 = 1,28\ A_1\ l^{-0,32} - 0,78\ A_2 l^{-2,47x} \quad (42)$$

Частное решение неоднородной системы:

$$l = \frac{5,26 \times 18}{36 \times 0,24} = 10,96; \qquad f = \frac{0,77 \times (-26)}{36 \times 0,24} = -2,32$$

Подставляем постоянные в (38):

$$\begin{cases} -1,65T_1 + 1,04\ T_2 + 10,96 = 0 \\ 1,04T_1 - 1,13T_2 - 2,23 = 0 \end{cases}$$

получаем: $T_1 = 12,78$ и $T_2 = 9,7$

Окончательное решение системы (30):

$$\tau_1 = 12,78 + A_1 l^{-0,32x} + A_2 l^{-2,47x}$$
$$\tau_2 = 9,7 + 1,28\ A_1\ l^{-0,32} - 0,788\ A_2 l^{-2,47x}$$

Максимально возможно охлаждение вытяжного воздуха (при $X \to \infty$), так как ($l^{\infty} = 0$) $\tau_1 = 12,78$; $\tau_2 = 9,7$

Для определения температуры на расстоянии 3 м (в канале) от входа приточного и вытяжного воздуха надо определять постоянные A_1 и A_2. Для этого подставим исходные данные в формулу (42) и получим $A_1 = 0,29$ и $A_2 = 5,5$.

Температуру на расстоянии 3 м от входа приточного и вытяжного воздуха как и на любом расстоянии определим по формуле:

$$\tau_1 = 12,78 + 0,29 l^{-0,32x} + 5,5 l^{-2,47x} = 12,89\ ^{\circ}C$$
$$\tau_2 = 9,7 + 0,37\ l^{-0,32} - 4,3 l^{-2,47x} = 9,84\ ^{\circ}C.$$

Таким образом охлаждение воздуха по внутренней прослойке составляет 5,15°С, а нагрев его в наружной прослойке составляет 4,84 °С при расходе воздуха 36 кг/м^2· ч.

7.3. Экспериментальные исследования НОРТ-2

Как видно в табл. 1, при равных значениях коэффициентов теплопередачи (п. 2) и расхода воздуха на расстоянии от входа 2 м при попутном движении воздух в наружной прослойке нагревается на 9,6°С, а во внутренней охлаждается на 9,6 °С.

При встречном движении (п. 7) при таких условиях в наружной прослойке воздух нагревается на 8,5°С, а охлаждается на 8,5°С, т.е. при попутном движении эффект использования тепла больше на 15%.

Лабораторией теплового и воздушного режима ЦНИИЭП жилища разработаны и испытаны специальные окна с двойным движением воздуха, позволяющие утилизировать как трансмиссионное, так и вентиляционное тепло. Их особенностью является то, что одна прослойка соединена с помещением, а другая – с атмосферой.

Исследования трехслойных окон с двойным движением воздуха, проведенные в климатических камерах, показали, что температуры их внутренней поверхности при количестве фильтрующегося воздуха 16,5 $м^3$/ч п.м. (рис. 10) не опускались ниже 12°С, т.е. были выше, чем при $\Delta P = 0$ на 5°С. При конструировании и эксплуатации таких окон следует предусмотреть меры по борьбе с образованием конденсата, наледи и т.п.

Избежать указанных дефектов можно путем чередования определенным образом воздушных прослоек либо понижением влагосодержания внутреннего воздуха, поступающего в прослойку наружного ограждения до допустимого. Конструированию должен предшествовать расчет по рекомендуемой методике.

На рис. 10 показано распределение температур по сечению окна без его вентиляции при $\Delta P = 0$ Па.

На рис. 11 показано распределение температур по сечению окна с вентиляцией инфильтрацией по обеим воздушным прослойкам при $\Delta P = 6 \div 10$ Па.

На рис. 12 показано распределение температур по сечению окна при эксфильтрации по обеим воздушным прослойкам $\Delta P = 30$ Па.

На этом рис. видно резкое повышение температур поверхности стекол ($\approx$ на 8°С) по сравнению с $\Delta P = 0$ Па и отсутствием принудительной вентиляции окон. Температура внутренней поверхности окна достигала 16°С.

На рис. 13, 14 окно с эксфильтрацией через наружную прослойку ($\Delta P = 6$ Па) и инфильтрацией через внутреннюю прослойку ($\Delta P = 10$ Па).

На рис. 13, 14 видно, что температуры поверхности стекол близки к тем, которые были при эксфильтрации по обеим прослойкам ($\approx \tau_в = 16$°С).

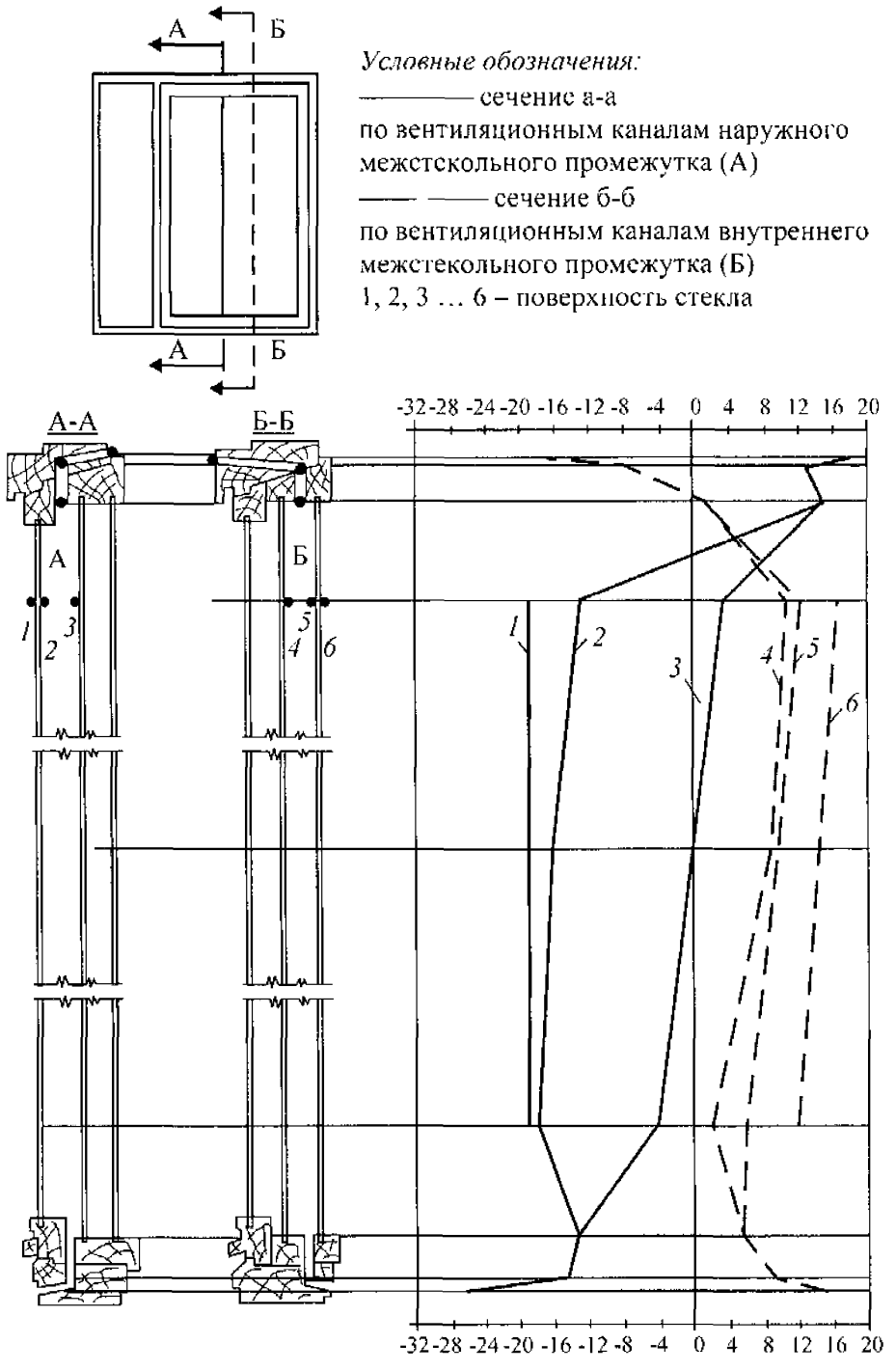
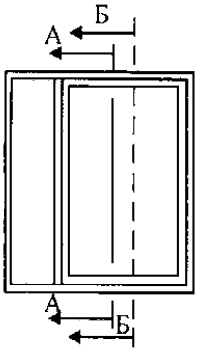


Рис. 10. Распределение осредненных температур, приведенных к расчетным значениям $t_н$ = -32°С и $t_в$ = +20°С, на поверхностях окон при ΔР = 0



Условные обозначения:

1, 2, 3, 4, 5, 6 – поверхность стекла;

_____ – сечение А-А по наружной прослойке

_ _ _ _ _ _ _ – сечение Б-Б по внутренней прослойке

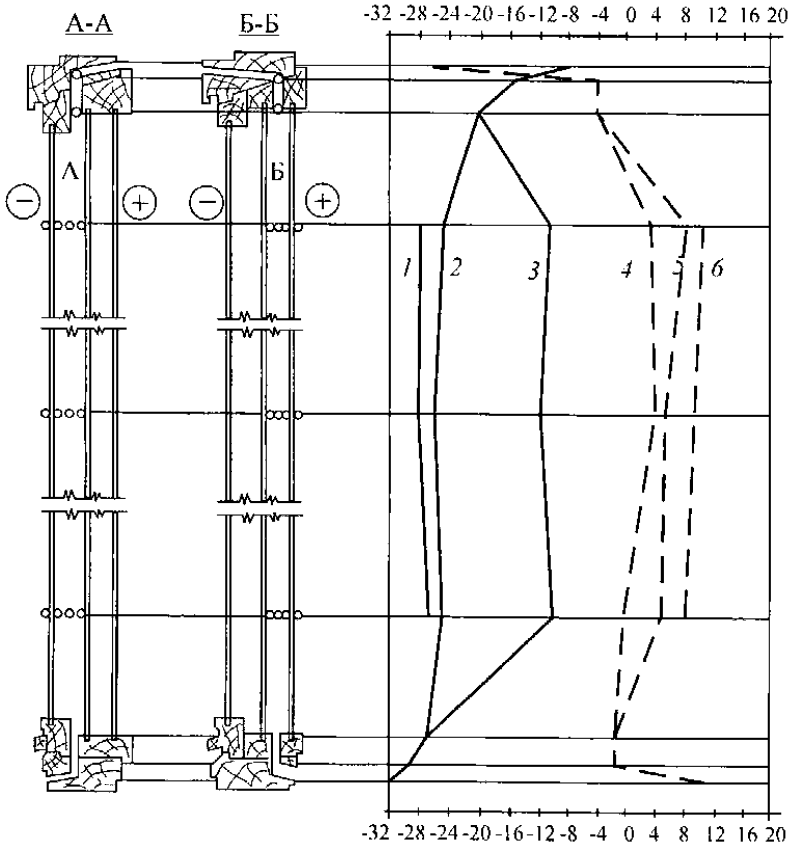


Рис. 11. **Распределение температур при расчетных значениях $t_н$ = -32°С и tв = +20°С по поверхностям стекол при инфильтрации ΔР = -10 Па**

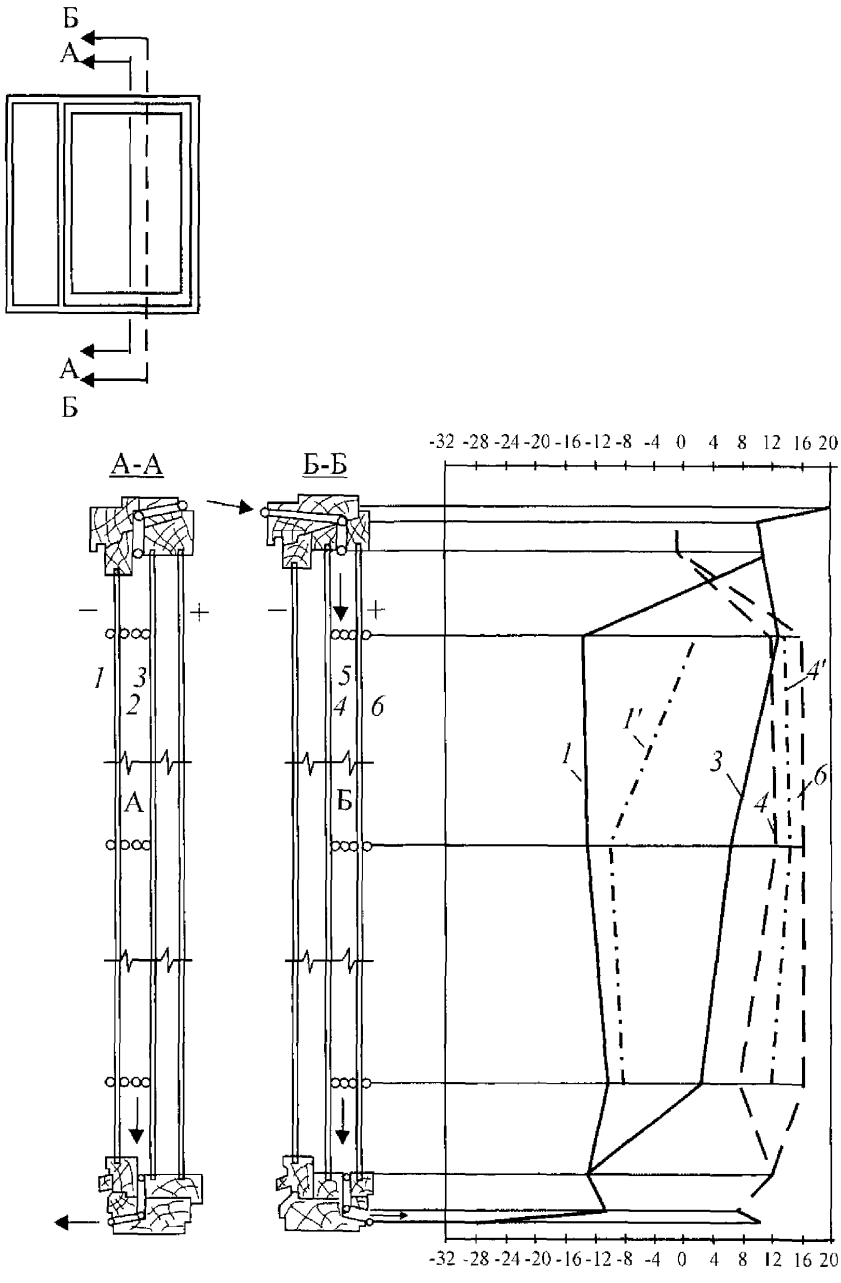


Рис. 12. **Распределение средних температур, приведенных к расчетным значениям $t_н$ = -32°С и tв = +20°С на поверхностях стекол при эксфильтрации в обеих воздушных прослойках А и Б, ΔР = 30 Па**

Условные обозначения: См. на рис. 10

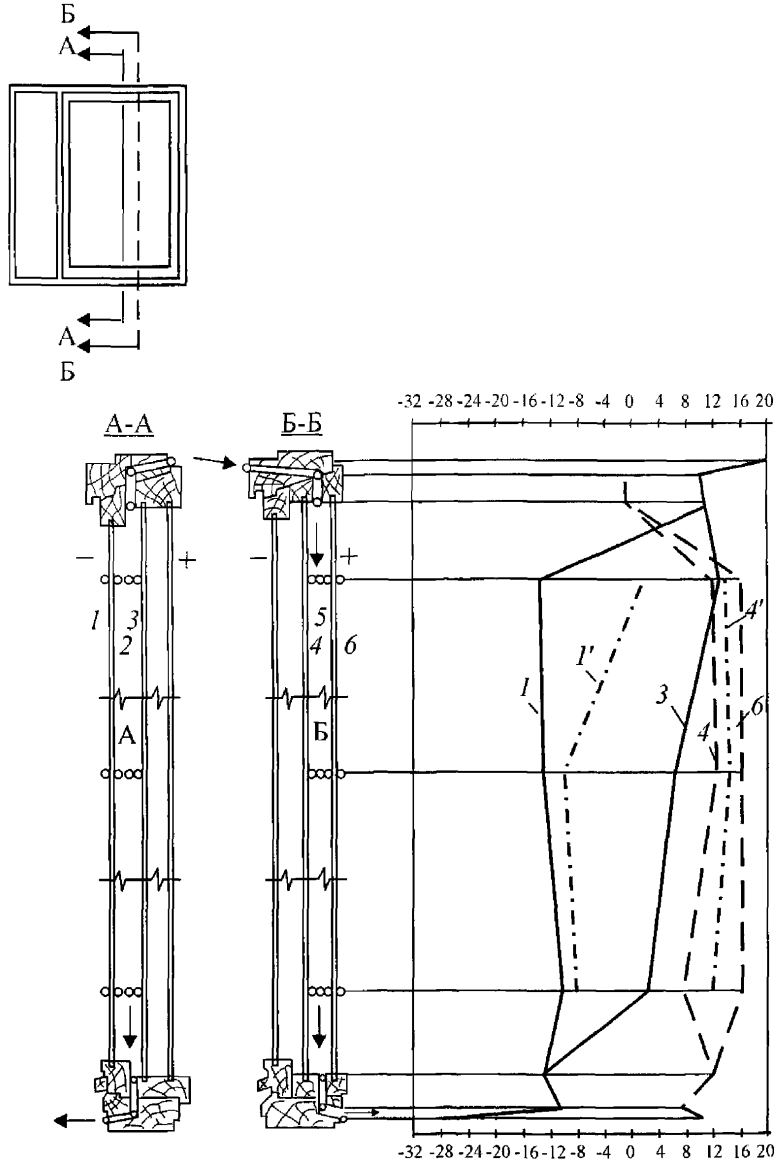


Рис. 13. **Распределение температур при расчетных значениях $t_н = -32°C$ и $t_в = +20°C$ на поверхностях стекол (1, 3, 4, 6) и в прослойках (1′ и 4′), при эксфильтрации через наружную прослойку (А) и инфильтрации через внутреннюю прослойку (Б), $\Delta P_А = 6$ Па, $\Delta P_Б = 10$**

Условные обозначения: См. на рис. 10

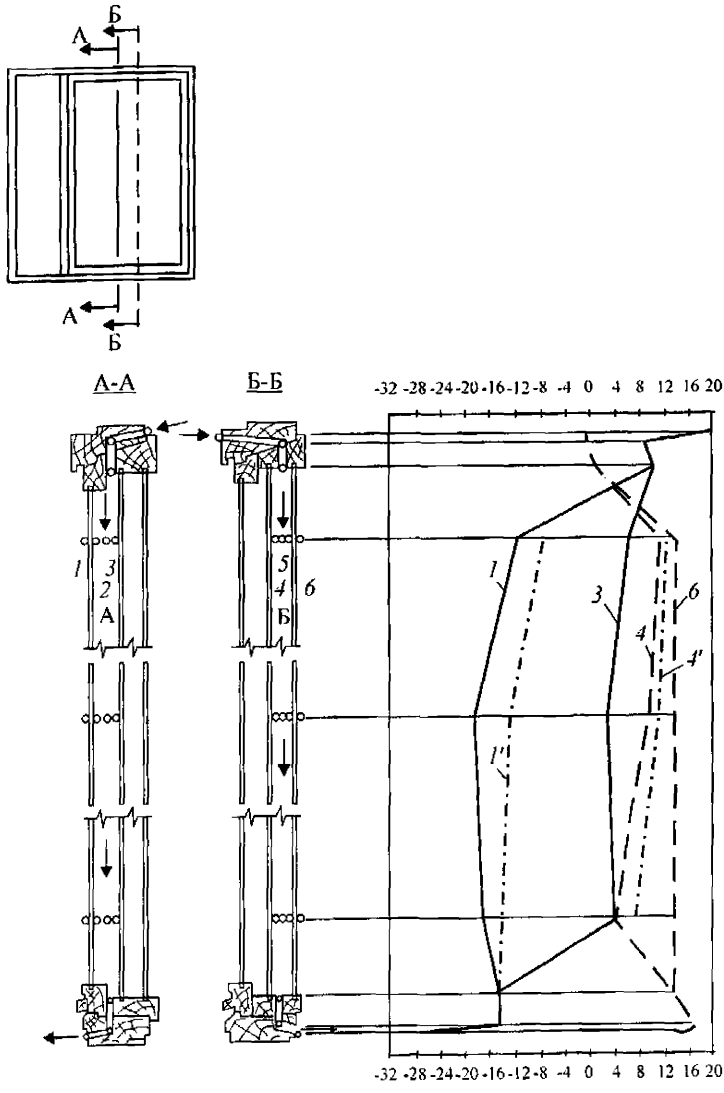


Рис. 14. **Распределение температур при расчетных значениях $t_н$ = -32°С и tв = +20°С на поверхностях стекол (1, 3, 4, 6) и в прослойках (1′ и 4′), при эксфильтрации через наружную прослойку (А) и инфильтрации через внутреннюю прослойку (Б), $\Delta P_{АБ}$ = 24 Па, W = 16,5 м^3/ч**

Из анализа рисунков и результатов расчета следует, что при двойном движении воздуха предпочтительным является вариант с движением воздуха по внутренней прослойке наружу (эксфильтрация), а наружного воздуха по наружной прослойке в помещение (инфильтрация).

На рис. 15 изображено наружное ограждение, совмещенное с системой вентиляции.

Наружное ограждение состоит из наружного 1 и внутреннего 2 воздухонепроницаемых слоев с расположенными между ними наружными 3 и внутренними 4 слоями утеплителя, между которыми находится канал 5, соединенный с атмосферой 6 через отверстия 7 и с помещением 8 через отверстия 9. Отверстия 7 расположены в наружном слое 1, а отверстия 9 - во внутреннем слое 2.

Наружный воздухонепроницаемый слой 1 с утеплителем 3 образуют одну наружную полупанель 10, внутренний воздухонепроницаемый слой 2 с утеплителем 4 - внутреннюю полупанель 11. Выполнение ограждения из двух полупанелей позволяет исключить трудозатраты по выполнению вентилируемых каналов. Полупанели 10 и 11 ограничены в верхней и нижней частях Г-образными профилями 12 и 13 с одинаковым направлением загиба. Полупанели соединены с помощью U-образных скоб 14. Отверстия 7 выполнены в верхней части ограждения, образованы Z-образными профилями 15 и снабжены экраном 16 с высоким коэффициентом теплоотдачи. Отверстия 9 выполнены в нижней части ограждения, образованы Г-образным профилем 13 и верхним торцом нижней панели и снабжены экраном 17, сопряженным с нагревателем или охладителем 18. Внутренняя полупанель 11 граничит с зоной интенсивного движения вытяжного воздуха 19, соединенной с вытяжным вентилятором 20.

Отверстия 7 снабжены каналами 21, а отверстия 9, соединяющие каналы 5 между полупанелями 10 и 11 с каналами 22 между внутренней полупанелью 11 и экраном 17, клапанами 23 или несгораемыми пористыми вставками 24. Вентилируемый слой (канал 5) может быть заполнен сыпучим материалом.

В нижней части канала 5 внутренний слой 4 имеет выемку 25, а наружный слой 3 - соответствующий ей выступ 26 и в верхней части канала 5 наружный слой 3 имеет выемку 27, а внутренний 4 - соответствующий ей выступ 28.

Наружный слой выполнен светопропускающим.

Ограждение работает следующим образом.

За счет разности давлений между помещением и атмосферой, создаваемой вентилятором 20, наружный воздух через отверстия 29 и 7 попадает в канал 5 и через отверстие 9 в вентиляционный канал 22, где дополнительно подогревается от нагревателя 18. Воздух, проходящий через отверстие 7 в канал 5, дополнительно подогревается от вытяжного воздуха, идущего в вентилятор 20. В нижней части ограждения при выполнении слоя утеплителя 4 внутренней полупанели более тонким, чем слой утеплителя 3 наружной полупанели, будет обеспечиваться дополнительный подогрев воздуха, поступающего в помещение.

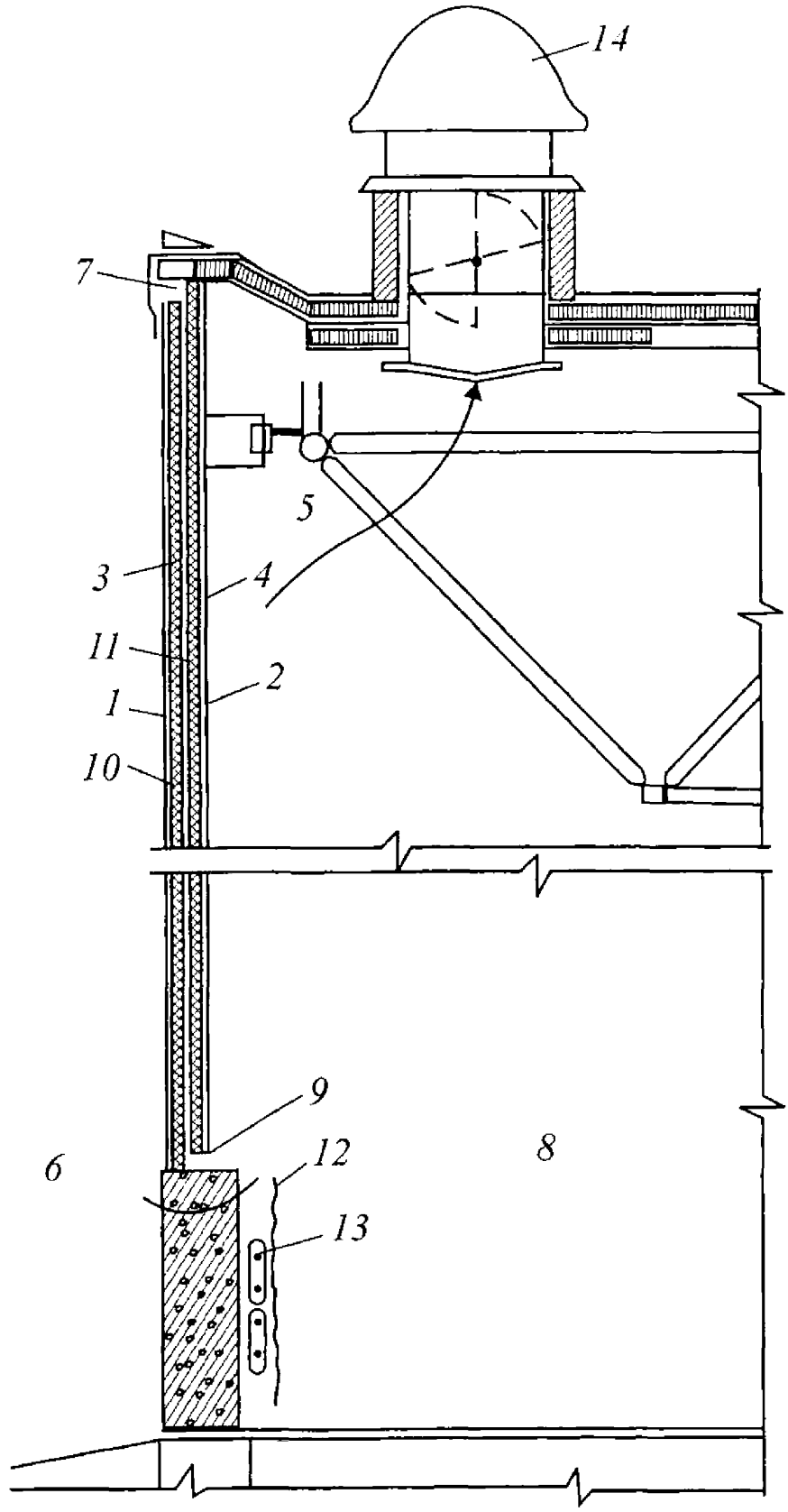


Рис. 15. **Наружное ограждение, совмещенное с системой вентиляции**

Установка клапанов 21 и 23 или несгораемой пористой вставки позволяет обеспечить движение воздуха в помещение и исключить его движение в случае выключения вентилятора 20.

В летнее время регистры отопления могут быть заполнены холодной водой, вследствие чего, обеспечено охлаждение помещения, а нагретая вода может быть использована для производственных нужд. Предлагаемое ограждение обеспечивает возвращение всего тепла, идущего на нагрев приточного воздуха в помещение.

На рис. 16 дано распределение температур на поверхности и в толще системы вентиляции, совмещенной с наружными ограждающими конструкциями, включающей легкие навесные вентилируемые панели и световые заполнения с вентилируемой прослойкой.

Как видно на рис. 16 вентилирование прослойки в наружной стеновой панели за счет рекуперации уходящий тепловой поток уменьшается при расходе воздуха 22 м^3/ч на 356 Вт $\Delta Q_{вых} = 0{,}28 \cdot c \cdot \Delta t \cdot W \cdot \gamma_t \cdot (\tau_{пр}^{ср} - t_{ext}) \cdot \alpha_n = 0{,}28 \times 22 \times (18 + 26) \times 1{,}3 + (-3 + 26) \times 23 - 0{,}28 \times 22 \times (18 + 26) \times 1{,}3 + (-22 + 26) \times 23 = 621$ Вт,

где

c	- удельная теплоемкость, кДж/кг°С;
$\Delta t = t_{int} - t_{ext}$	- температурный перепад между внутренней t_{int} и наружной t_{ext} температурами °С;
$\tau_{пр}^{ср}$	- средняя температура в прослойке, °С;
α_n	- коэффициент теплопередачи наружной поверхности, Вт/м^2°С;
W	- расход воздуха, м^3/м^{2}ч;
$\gamma_t \cdot$	- плотность воздуха, кг/м^3.

Температура воздуха, входящего в помещение при работающем нагревателе плюс 24°С.

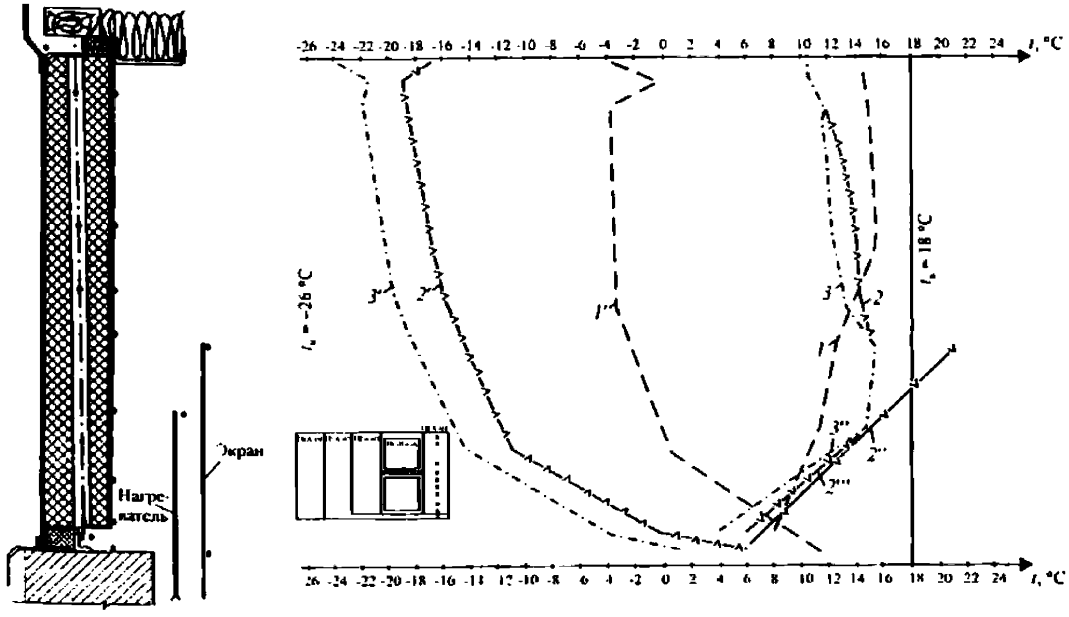


Рис. 16. **Распределение температур, приведенных к $t_в$ = +18°C и $t_н$ = -26°C на внутренней поверхности ограждения, под экраном, кривые 2'', 3'', на экране 2''' и в толще воздушной прослойки (кривые 1', 2', 3') ппри наличии продольной инфильтрации и эксфильтрации воздуха через канал в легкой навесной вентилируемой глухой панели ПВА-04 с наклонной прослойкой при условиях режимов испытаний (номера кривых соответствуют номеру режима)**

Режим 1. Клапана закрыты, расход воздуха через канал W = 0.

Режим 2. Клапана открыты, расход воздуха через канал W = 21 $м^3$/ч.м.

Режим 3. То же, расход воздуха через канал W = 22 $м^3$/ч.м, разность давления ΔР = 2,0 Па (0,2 мм.вод.ст., V = 2,5 м/сек.)

8. Заключение

На основании выполненных исследований разработана система вентиляции, совмещенная с наружными ограждающими конструкциями, которая при наличии слоев и покрытий с низким коэффициентом излучения позволяет повысить тепловую эффективность зданий до величин, установленных Правительством России на перспективу до 2020 г.

Из двух рассмотренных направлений рекуперации тепловых потоков более готовым к внедрению является рекуперация трансмиссионных тепловых токов.

Направление же рекуперации вентиляционных потоков следует продолжить в экспериментальном порядке, при этом руководствоваться чередованием воздушных прослоек при следующих условиях:

а. Определить параметры воздушной струи в конструкции и в помещении в диапазоне изменения температур и количества наружного воздуха, которыми характеризуется приемлемость и эффективность рассматриваемого решения;

б. Оценить возможности понижения влагосодержания воздуха при необходимости (система с рекуперацией вентиляционного тепла);

в. Оценить эффективность систем вентиляции и балансировки притока и вытяжки воздуха при двойном движении (попутном встречном) теплового потока.

Для систем с рекуперацией вентиляционного тепла применять технические решения при экспериментальном строительстве для уточнения эффективных условий работы данной системы при естественной и механической вентиляции.

Во избежание отрицательного воздействия конденсата при проектировании требуется установить требуемую предельную температуру наружного воздуха в зависимости от типа и расположения воздушной прослойки.

При проектировании следует выбирать вариант на основе разработанных методик во всем реальном диапазоне температур наружного воздуха и нормируемых расходов воздуха (25÷60 $м^3$/ч), подкрепленный результатами лабораторных или натурных испытаний, включая аэродинамический расчет сопротивлений отдельных участков воздушного тракта с определением требуемой площади отверстий для поступления и выпуска воздуха.

Приложения

Приложение А
(справочное)

Перечень нормативных документов

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ.
2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ.
3. Приказ от 28 мая 2010 г. № 262 Минрегионразвития «О требованиях энергетической эффективности зданий, строений, сооружений».
4. ГОСТ 30494-96 — Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
5. СП131.13330.2011 СНиП 23-01-99* — «Строительная климатология»
6. СП50.13330.2010 СНиП 23-02-2003 — «Тепловая защита зданий»
7. СП52.13330.2011 СНиП 23-05-95* — «Естественное и искусственное освещение»
8. СП54.13330.2011 СНиП 31-01-2003 — «Здания жилые многоквартирные»
9. СП55.13330.2011 СНиП 31-02-2001 — «Дома жилые одноквартирные»
10. СП117.13330.2011 СНиП 31-05-2003 — «Общественные здания административного назначения»
11. СП60.13330.2011 СНиП 41-01-2003 — «Отопление, вентиляция и кондиционирование»
12. СП124.13330.2011 СНиП 41-02-2003 — «Тепловые сети»
13. СП30.13330.2010 СНиП 2.04.01-85* — «Внутренний водопровод и канализация зданий»
14. ГОСТ Р1.4-2004 — «Стандарты организации. Общие положения»

15. ГОСТ 12.1.005-88* «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

16. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»

17. ГОСТ 26.602.2 Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемость, М., 2000.

18. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий»

19. СП 23-102-2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий»

20. СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов»

21. СаНПиН 2.1.2.1002-00 «Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям»

22. МГСН 2.06-99 «Естественное, искусственное и совмещенное освещение»

23. МГСН 3.01-01 «Жилые здания»

24. МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве»

25. МГСН 2.01-99 «Энергосбережение в зданиях. Нормативы по тепло-водо-электросбережению»

26. РМ-2696-01 «Временная инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий»

Приложение Б
(обязательное)

Основные термины и их определения

№ п/п	Термин	Обозначение	Характеристика	Обозначение единицы величины
1	2	3	4	5
1. Материалы конструкции				
1.1	Коэффициент теплопроводности материала	λ	Величина, численно равная плотности теплового потока, проходящего в условиях стационарной теплопередачи через слой материала толщиной в 1 м при разности температур на его поверхности один градус Цельсия	**Вт/(м ·°С)**
1.2	Коэффициент теплоусвоения материала	**s**	Величина, отражающая способность материала воспринимать теплоту при колебаниях температуры на его поверхности	**Вт/(м^2 ·°С)**
1.3	Плотность материала	ρ	Отношение массы материала к его объему	**кг/м^3**
1.4	Плотность сухого материала	ρ_o	Отношение массы сухого материала к занимаемому им объему	**кг/м^3**
1.5	Плотность влажного материала	ρ_w	Отношение массы влажного материала, включая массу влаги в его порах, к занимаемому влажным материалом объему	**кг/м^3**
1.6	Относительная массовая влажность материала	**W**	Процентное отношение массы влаги к массе материала в сухом состоянии	-
1.7	Сорбционная влажность материала	w_s	Равновесная относительная влажность материала в воздушной среде с постоянной относительной влажностью и температурой	-

1	2	3	4	5
1.8	Коэффициент паропроницаемости материала	μ	Величина, равная плотности стационарного потока водяного пара, проходящего в изотермических условиях за единицу времени через слой материала толщиной в 1 м в единицу времени при разности парциального давления в один Паскаль	**мг/(м·ч·Па)**
1.9	Коэффициент поглощения тепла солнечной радиации	β	Отношение теплового потока, поглощенного поверхностью материала, к падающему на него потоку солнечной радиации	-
1.10	Коэффициент изучения поверхности	ε	Отношение величины теплового излучения единицей поверхности конструкции к величине теплового излучения единицей поверхности абсолютно черного тела при одинаковой температуре	-
2. Ограждающие конструкции здания				
2.1	Теплоустойчивость ограждающей конструкции	-	Свойство ограждающей конструкции сохранять относительное постоянство своей температуры при колебаниях окружающей среды	-
2.2	Воздухопроницаемость ограждающей конструкции	-	Свойство ограждающей конструкции пропускать воздух под действием разности давлений на наружной и внутренней поверхностях	-
2.3	Паропроницаемость ограждающей конструкции	-	Свойство материалов ограждающей конструкции пропускать влагу под действием разности парциальных давлений водяного пара на ее наружной и внутренней поверхностях	-
2.4	Коэффициент теплообмена (тепловосприятия или теплоотдачи)	α_{int} α_{ext}	Величина, численно равная тепловому потоку между поверхностью конструкции и окружающей средой, равная поверхностной плотности теплового потока при перепаде температур между поверхностью и окружающей средой в один градус Цельсия соответственно для внутренней и наружной поверхностей	**Вт/(м^2·°С)**

1	2	3	4	5
2.5	Сопротивление теплообмену (теплоотдаче или тепловосприятию)	$\mathbf{R_{int}}$ $\mathbf{R_{ext}}$	Величина, обратная коэффициенту теплообмена	**$м^2 \cdot °C/Вт$**
2.6	Коэффициент теплопередаче ограждающей конструкции (трансмиссионный)	$\mathbf{k^{tr}}$	Величина, численно равная поверхностной плотности теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию при разности температур внутреннего и наружного воздуха в один градус Цельсия	**$Вт/(м^2 \cdot °C)$**
2.7	Термическое сопротивление слоя ограждающей конструкции	**R**	Величина, обратная поверхностной плотности теплового потока, проходящего через слой материала ограждающей конструкции при разности температур на его поверхностях в один градус Цельсия	**$м^2 \cdot °C/Вт$**
2.8	Термическое сопротивление ограждающей конструкции	$\mathbf{R_k}$	Сумма термических сопротивлений всех слоев материалов ограждающей конструкции	**$м^2 \cdot °C/Вт$**
2.9	Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции	$\mathbf{R_o}$	Величина обратная коэффициенту теплопередачи ограждающей конструкции	**$м^2 \cdot °C/Вт$**
2.10	Приведенный коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции	$\mathbf{k^r}$	Средневзвешенный коэффициент теплопередачи теплотехнически неоднородной ограждающей конструкции	**$Вт/(м^2 \cdot °C)$**
2.11	Приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания	$\mathbf{K_m^{tr}}$	Величина, численно равная среднему кондуктивному тепловому потоку, приходящемуся на единицу площади совокупности наружных ограждающих конструкций здания при разности температур внутреннего и наружного воздуха в один градус Цельсия	**$Вт/(м^2 \cdot °C)$**
2.12	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции	$\mathbf{R_o^r}$	Величина, обратная приведенному коэффициенту теплопередачи ограждающей конструкции	**$м^2 \cdot °C/Вт$**

1	2	3	4	5
2.13	Коэффициент теплоусвоения поверхности конструкции	Y	Отношение величины амплитуды гармонических колебаний плотности теплового потока, вызванного неравномерностью отдачи теплоты системой отопления, к величине амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности наружного ограждения	**Вт/(м^2·°С)**
2.14	Воздухопроницаемость ограждающей конструкции	G	Величина, численно равная массовому потоку воздуха через единицу площади поверхности ограждающей конструкции в единицу времени при постоянной разности давлений воздуха на ее поверхностях	**кг/(м^2·ч)**
2.15	Коэффициент воздухопроницаемости ограждающей конструкции (за исключением световых проемов)	i	Воздухопроницаемость ограждающей конструкции, приходящаяся на один Па разности давлений на ее поверхностях	**кг/(м^2·ч·Па)**
2.16	Сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции (за исключением световых проемов)	R_{inf}	Величина, обратная коэффициенту воздухопроницаемости ограждающей конструкции	**м^2·ч·Па/кг**
2.17	Сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции	R_{vr}	Величина, обратная потоку водяного пара, проходящего через единицу площади ограждающей конструкции в изотермических условиях в единицу времени при разности парциальных давлений внутреннего и наружного воздуха в один Паскаль	**м^2·ч·Па/мг**
2.18	Тепловая инерция ограждающей конструкции	D	Величина, численно равная сумме произведений термических сопротивлений отдельных слоев ограждающей конструкции на коэффициенты теплоусвоения материала этих слоев	-
2.19	Коэффициент остекленности фасада здания	f	Отношение площадей светопроемов к суммарной площади наружных ограждающих конструкций фасада здания, включая светопроемы	-

1	2	3	4	5
2.20	Показатель компактности здания	k_e^{des}	Отношение общей площади внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций здания к заключенному в них объему	-
		3. Геометрические показатели		
3.1	Площадь квартиры (одноквартирного дома)	A_h	Сумма площадей помещений квартиры и встроенных шкафов без учета лоджий, балконов, террас, веранд, холодных кладовых и тамбуров – по МГСН 3.01	$м^2$
3.2	Полезная площадь общественного здания	A_h	Сумма площадей всех размещаемых в нем помещений, а также балконов и антресолей в залах, фойе и т.п., за исключением лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов – по СНиП 2.08.02	$м^2$
3.3	Площадь жилых комнат квартиры (одноквартирного дома)	A_r	Сумма площадей всех общих комнат (гостиных) и спален – по МГСН 3.01	$м^2$
3.4	Расчетная площадь общественных зданий	A_l	Сумма площадей всех размещаемых в нем помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и инженерных сетей – по СНиП 2.08.02	$м^2$
3.5	Площадь наружных ограждающих конструкций	A_e^{sum}	Сумма площадей внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения – по СНиП 23-02	$м^2$
3.6	Отапливаемый объем	V_h	Объем, ограниченный внутренними поверхностями наружных ограждений здания – стен, покрытий (чердачных перекрытий), перекрытий пола первого этажа или пола подвала	$м^3$

1	2	3	4	5
3.7	Классификация зданий по высоте (от отметок пола нижнего входа в здание до покрытия последнего этажа)		Малоэтажные – до 5 этажей. Многоэтажные – от 5 до 25 этажей (75 м). Повышенной этажности – 75,1-150 м. Высотные – 150,1-300 м. Сверхвысокие – выше 300 м.	
4. Тепловая защита зданий				
4.1	Тепловая защита зданий	-	Теплозащитные свойства совокупности наружных и внутренних ограждающих конструкций здания, обеспечивающие заданный уровень потерь тепловой энергии зданием с учетом воздухообмена помещений не выше допустимых пределов при заданных значениях воздухопроницаемости и защиту от переувлажнений при оптимальных параметрах микроклимата его помещений по СНиП 23-02.	-
4.2	Тепловой режим здания	-	Совокупность всех факторов и процессов, формирующих тепловой внутренний микроклимат здания в процессе эксплуатации	-
5. Показатели энергоэффективности				
5.1	Нормируемый и расчетный удельные показатели тепловой энергоэффективности здания	q_h^{des} q_h^{req}	Нормируемое и расчетное количество тепловой энергии за отопительный период, необходимое для компенсации теплопотерь здания с учетом нормируемого воздухообмена и тепловыделений при нормируемых параметрах теплового и воздушного режимов помещений в нем, отнесенное на 1 м^2 площади квартир жилого здания или полезной площади помещений общественного здания или к их отапливаемому объему	**кВт·ч/м^2** **кДж/м^2·°Ссут**
5.2	Класс энергетической эффективности	***A*** ***B*** ***C***	Обозначение уровня энергетической эффективности здания, характеризуемого интервалом значений удельного расхода тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	

1	2	3	4	5
5.3	Градусо-сутки отопительного периода	D_d	Показатель, численно равный произведению разности расчетной температуры внутреннего воздуха и средней температуры наружного воздуха за отопительный период на продолжительность отопительного периода	**°Ссут.**
5.4	Продолжительность отопительного периода	z_{ht}	Расчетный период времени работы системы отопления здания, представляющий собой среднее статистическое число суток в году, когда средняя суточная температура наружного воздуха устойчиво равна и ниже 8 или 10°С в зависимости от вида здания	**сут.**
5.5	Средняя температура наружного воздуха отопительного периода	t_{ht}	Расчетная температура наружного воздуха, осредненная за отопительный период по средним суточным температурам наружного воздуха по СНиП 23-02	**°С**
5.6	Энергетический паспорт проекта здания	-	Документ, содержащий геометрические, энергетические и теплотехнические характеристики проектов зданий и устанавливающий соответствие требованиям нормативных документов.	-
6. Энергетические показатели				
6.1	Установленная мощность системы отопления здания	$Q_{h.np}$	Проектный расчетный часовой расход тепловой энергии на отопление здания из проекта ОВ	**кВт**
6.2	Требуемая мощность системы отопления здания	Q_h	Расчетный часовой расход тепловой энергии на отопление здания, необходимый для компенсации теплопотерь здания с учетом нормируемого воздухообмена и тепловыделений и обеспечения в помещениях нормируемой температуры внутреннего воздуха	**кВт**
6.3	Удельный расчетный расход тепловой энергии на отопление здания	q_h	Максимальный тепловой поток на отопление, отнесенный на 1 м^2 общей площади квартир жилого здания или полезной площади общественного здания	**Вт/м^2**

1	2	3	4	5
7. Энергоемкость потребления				
7.1	Требуемый расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	Q_h^y	Количество тепловой энергии, минимально необходимой на отопление здания за отопительный период для поддержания в помещениях нормируемой температуры внутреннего воздуха и воздухообмена (в жилых домах с приточной вентиляцией без подогрева)	**кВт.ч**
7.2	Годовой (базовый) расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	$Q_h^{bas.y}$	Количество тепловой энергии, подаваемой в здание на отопление за отопительный период, исходя из проектной нагрузки при центральном качественном регулировании и отсутствии местного индивидуального авторегулирования	**кВт.ч**
7.3	Годовой расход тепловой энергии на принудительную вентиляцию (в общественных зданиях)	Q_v^y	Количество тепловой энергии, необходимое на принудительную вентиляцию за отопительный период исходя из проектной нагрузки для обеспечения заданной температуры приточного воздуха в течение времени работы систем.	**кВт.ч**
7.4	Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение	Q_{hw}^y	Количество тепловой энергии за год с учетом отключения системы на ремонт, необходимое на горячее водоснабжение для обеспечения нормируемого водопотребления при температуре водоразбора 55°С	**кВт.ч**
7.5	Годовой расход электрической энергии зданием	E^y	Количество электрической энергии за год с учетом среднерасчетного электропотребления и часов использования максимума жилых зданий и установленной мощности электроприемников и коэффициентов спроса и загрузки общественных зданий	**кВт.ч**

Приложение В

В натурных условиях проведены испытания вентилируемых панелей дома, построенного по проектным решениям лаборатории ТВР ЦНИИЭП жилища. Были изготовлены керамзитобетонные трехслойные панели, которые были установлены на жилых домах. Стеновые панели представляют собой конструкцию со специальными каналами. Каналы соединяются с атмосферой в нижней части наружными отверстиями 150х150 мм, а с внутренней – в верхней части помещения отверстиями 150х200 мм. В местах ребер для соединения вертикальных и горизонтальных каналов имеются специальные устройства.

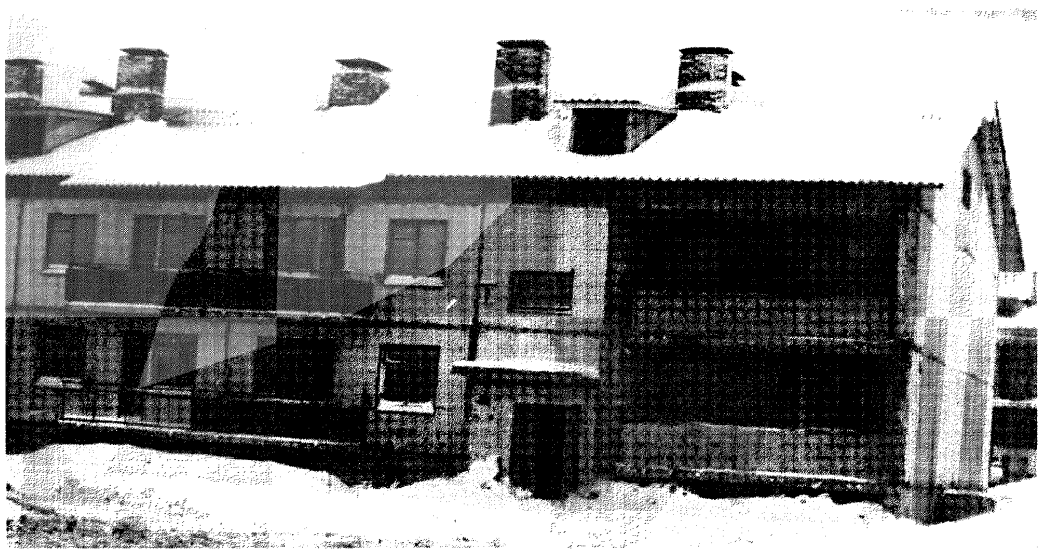


Рис. 1. Дом с вентиляционными устройствами:

На основании проведенных натурных теплофизических исследований жилого дома можно сделать следующие выводы (Рис.1):

- при закрытом режиме теплопотери в помещениях экспериментальной квартиры больше, чем при открытом режиме: в кухне – на 93,3 Вт (или 15,5%), а в трех комеатах – на 733,7 Вт (или 21,5%). В целом по квартире эта разница составляет 827,0 ВТ (или 20,6%). Это свидетельствует о том, что при открытом режиме из каналов поступает воздух, подогреваемый за счет утилизации тепла, проходящего через панели.

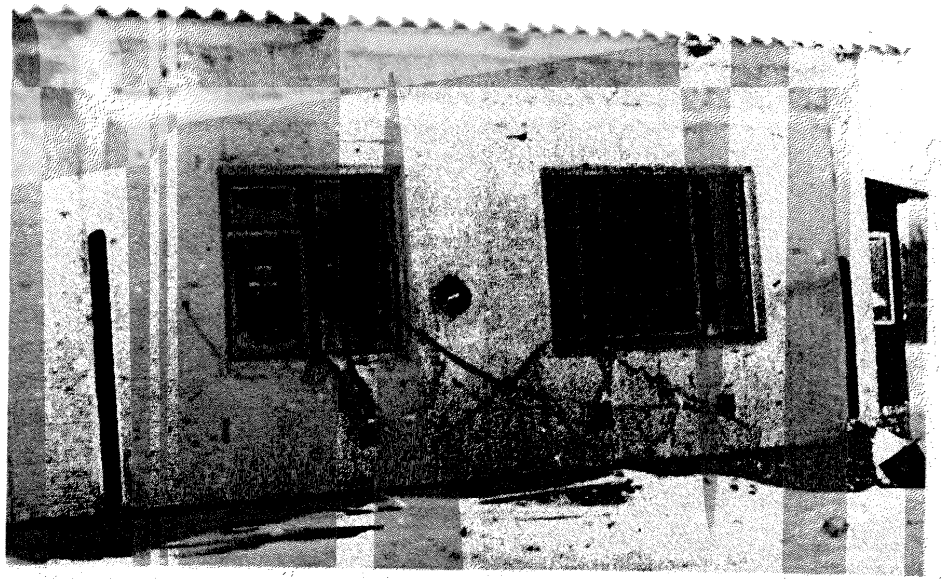
- температура воздуха во входных отверстиях вентиляционных каналов, а также

самих каналах на разной глубине при закрытом режиме выше, чем при открытом. Температура воздуха, выходящего в помещение из приточных отверстий, равна при отсутствии регистров отопления t = 11,6 °С при расходе воздуха до 21,2 кг/ч (при наличии регистров отопления 15,5 °С при расходе воздуха I = 18,97 кг/ч) при температуре теплоносителя 55-70°С;

- тепловая эффективность предложенных устройств составляет в среднем 25,5% из сравнения эталонной и экспериментальной кухни, 22,8% - из сравнения открытого и закрытого режимов экспериментальной кухни и 6% - по экспериментальной комнате.

Эффект от предложенных решений, в среднем, составляет 18,2% экономии тепла. Исследования не ограничиваются только вопросами рекуперации трансмиссионного тепла. Не меньший интерес представляют исследования наружных ограждений с рекуперацией вентиляционного тепла.

На основе испытаний элементов наружных ограждений разработана конструкция окна.



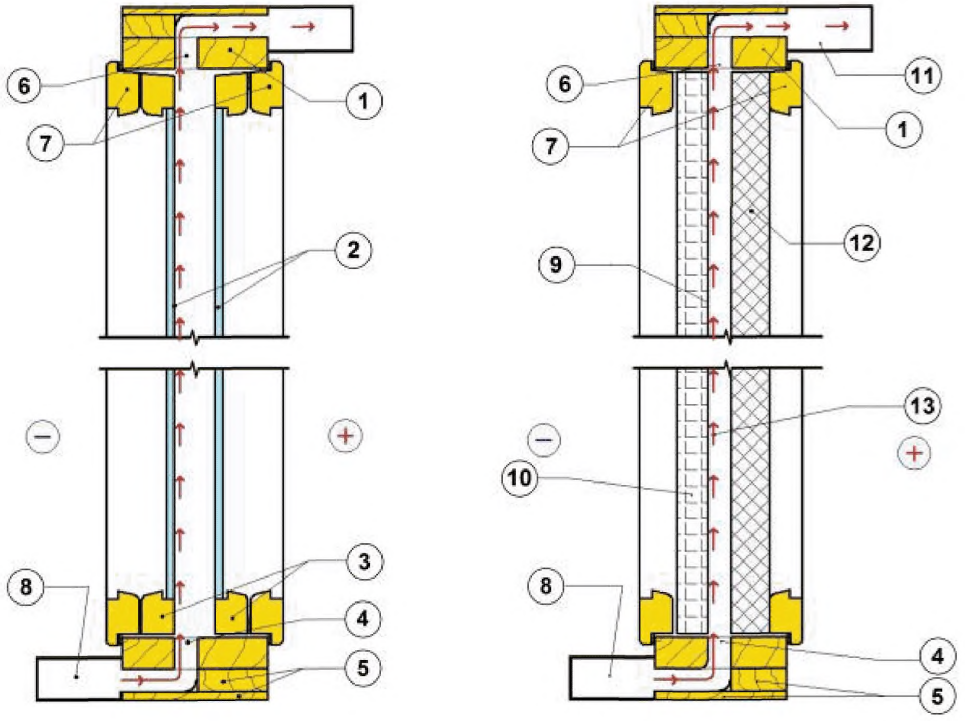
Приложение Г

Для оценки эффективности разработанных в соответствии с предложенными авторами новыми принципами проектирования ограждающих и светопрозрачных конструкций с использованием технологий активного энергосбережения с активной рекуперацией выходящего теплового потока в течение 2013 – 2014 годов в НИИСФ РААСН были проведены широкомасштабные экспериментальные исследования в климатических камерах института.

На основании результатов предварительных исследований, проведенных в 2010 – 2012 годах были определены основные параметры нового поколения ограждающих (ЭВОК) и светопрозрачных (ЭВСОК) конструкций с активной рекуперацией теплового потока.

Основной целью исследований, представленных в настоящем приложении, являлось подтверждение эффективности новых принципов проектирования и принципиальных технических решений энергоэффективных вентилируемых ограждающих конструкций зданий на основе механизма активной рекуперации выходящего теплового потока и влаги с использованием турбулентных воздушных потоков наружного воздуха в организованной воздушной прослойке ЭВОК и ЭВСОК, обеспечении специальных граничных условий в этой прослойке, в том числе – с применением современных теплоотражающих экранов. Фактически, предлагается заменить традиционные теплоизоляционные материалы мощным теплофизическим процессом, который может работать как в стенах и крышах, так и в светопрозрачных конструкциях. При этом обеспечивается повышение уровня воздухообмена и комфортности микроклимата помещений в условиях значительного снижения удельного энергопотребления зданий.

Как было показано ранее, физические процессы, используемые в предложенных авторами ограждающих и светопрозрачных конструкциях, аналогичны. В этой связи, для удобства исследований нами использовались базовая модель и экспериментальный стенд (рис.1) на основе остекленных деревянных рам с регулируемым расстоянием между стеклами, возможностью дополнительной установки слоев непрозрачных материалов и специальных теплоотражающих экранов (автономных и в виде покрытий), изменяемым направлением воздушного потока из наружного в межстекольное пространство, а также скоростью и объемом поступающего потока наружного воздуха в широком диапазоне.

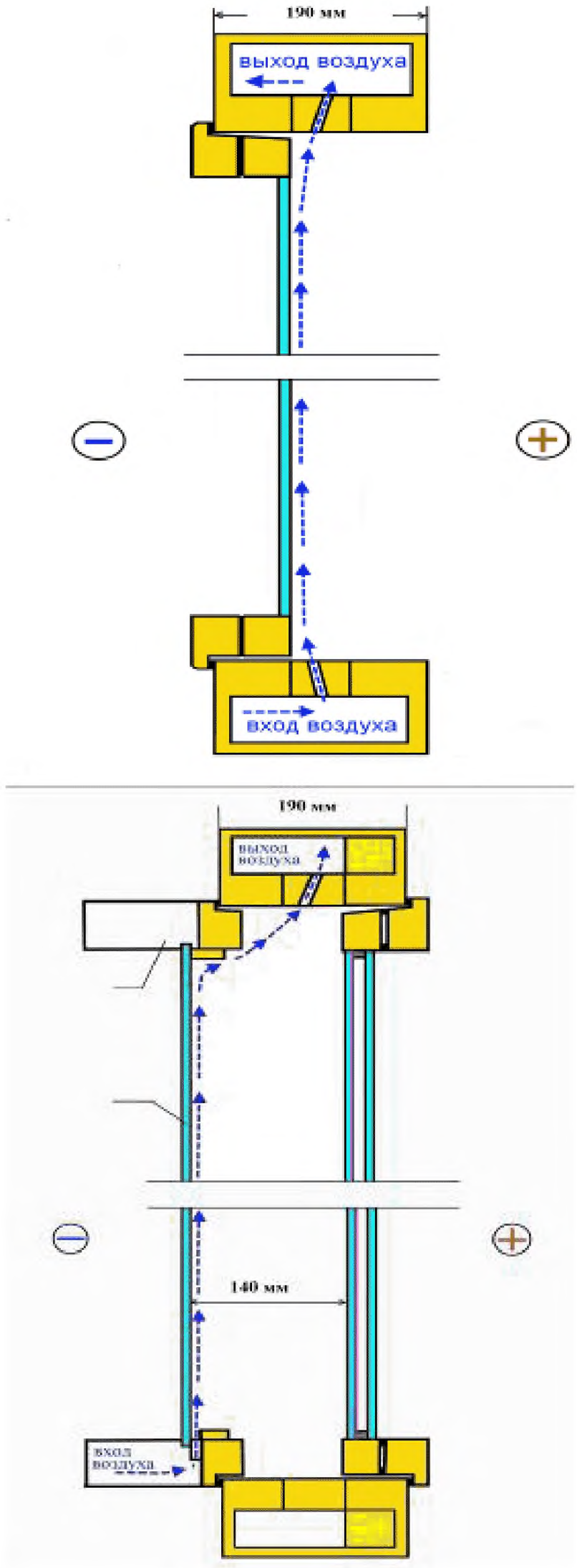


а. б.

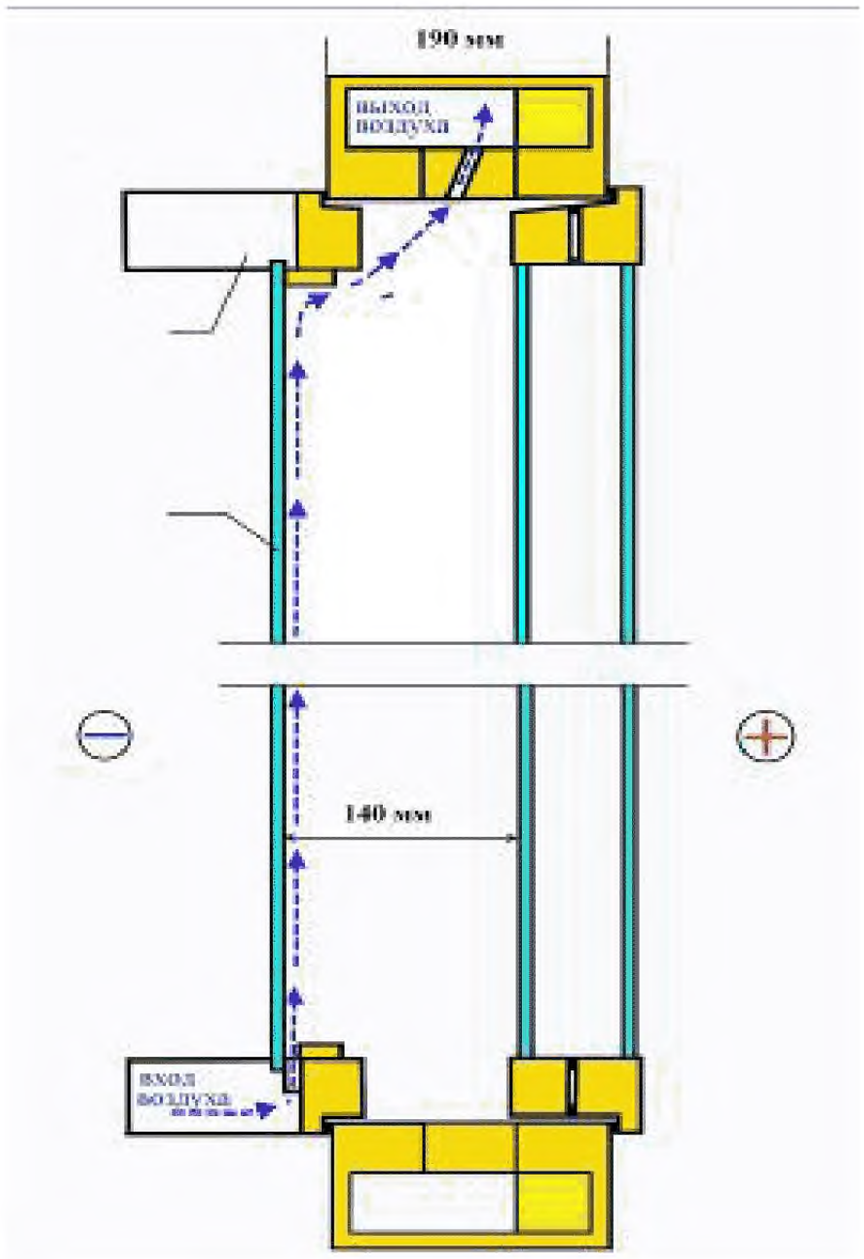
Рисунок 1. Блок-схема модуля, на котором проводились исследования.
а – светопрозрачная конструкция; б – вентилируемый фасад.
1 – оконная коробка (дерево); 2 – стекло; 3, 7 – рамные элементы (дерево); 4 – входная щель; 5 – доборные элементы (дерево); 6 – выходная щель; 8 – короб для входа наружного воздуха; 9 – теплоотражающий экран из алюминиевой фольги; 10 – панель вентилируемого фасада; 11 – короб для выходящего воздуха с вентилятором на торце; 12 – плита утеплителя; 13 – направление движения приточного воздуха

Для проведения испытаний был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд со съемными оконными рамами, а также вентиляционная система (вентиляторы, каналы, сопла, расходомеры и т.д.) и измерительная система (оценка тепловых потоков, температур в воздухе и на поверхностях светопропускающего заполнения). Схематически основные варианты экспериментальных стендов приведены на рис.2.

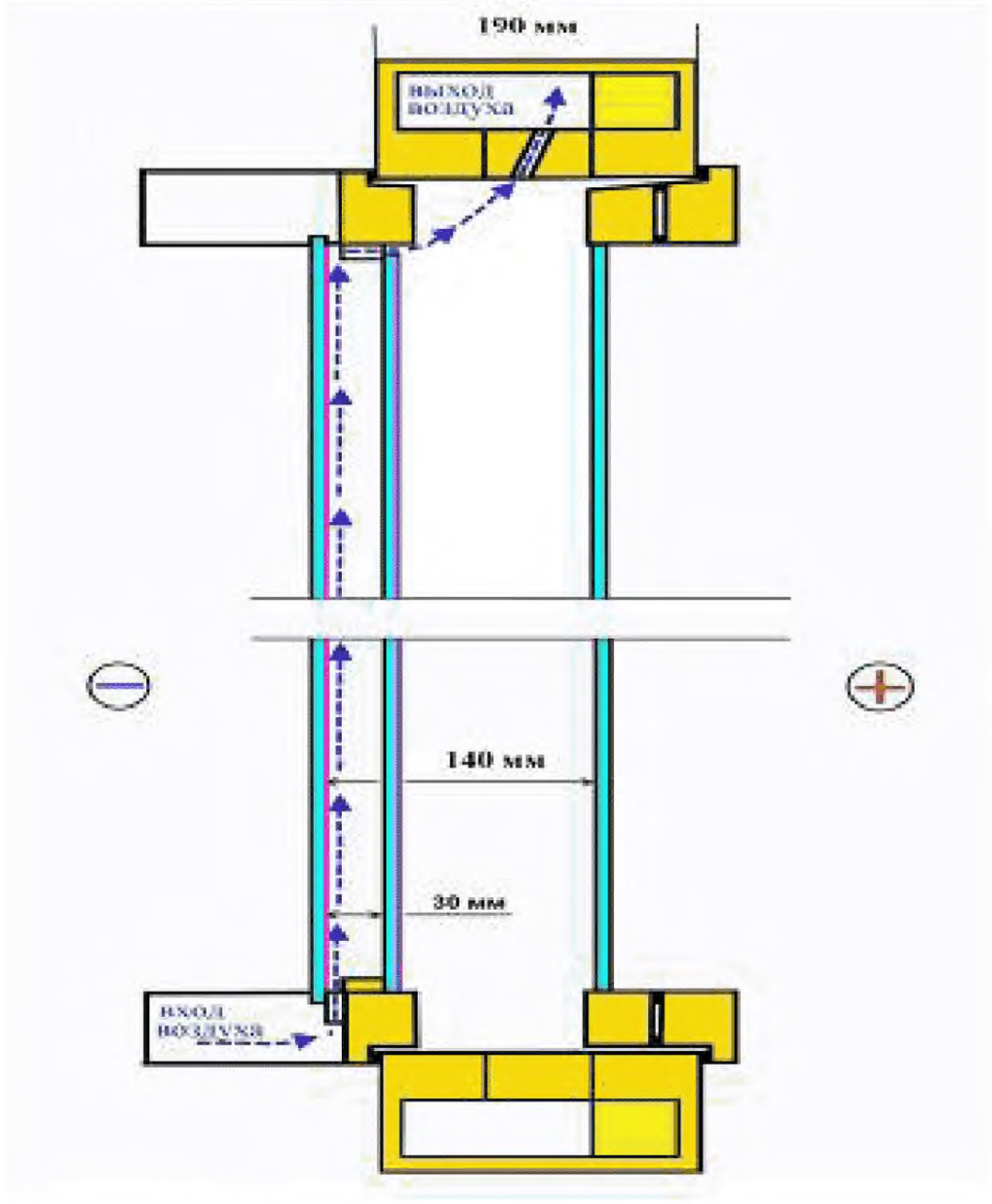
Испытания ЭВСОК проводились из предположения, что если бы удалось обеспечить достаточно низкие уровни теплопотерь в светопрозрачных конструкциях, те же принципиальные решения могут гарантировать значительное снижение теплопотерь и в непрозрачных ЭВОК (стенах и крышах).


190 мм
выход воздуха
вход воздуха
190 мм
выход воздуха
140 мм
вход воздуха

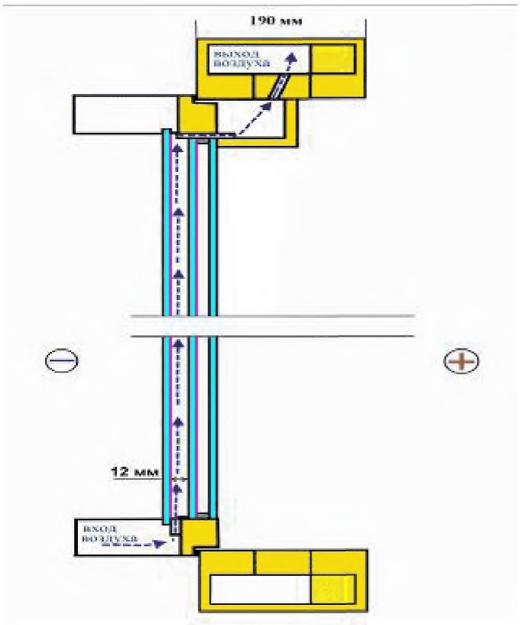
а. б.


190 мм
ВЫХОД ВОЗДУХА
140 мм
ВХОД ВОЗДУХА

В.


190 мм
ВЫХОД ВОЗДУХА
140 мм
30 мм
ВХОД ВОЗДУХА

Г.



д.

Рисунок 2. Основные варианты экспериментальных стендов
а. – экспериментальный стенд №1; б. – экспериментальный стенд №2; в. – экспериментальный стенд №3; г. – экспериментальный стенд №4; д. – экспериментальный стенд №5.

Подробная детализация особенностей первоначальных конструкций экспериментальных стендов приведена ниже:

- Экспериментальный стенд №1 - одно простое стекло М1 в спаренной деревянной раме ОС по ГОСТ 11214-86. Воздушный поток направляется снизу, установлено два вентилятора, которые работают на приток и вытяжку. На входе воздушного потока установлено регулируемое распределительное сопло, на выходе – также регулируемое распределительное сопло. В данном варианте экспериментального стенда подача и сбор воздуха происходили из вентиляционных каналов внутренним сечением 58х150мм, которые были размещены в нижней и верхней частях конструкции. Приток и вытяжка могли меняться местами;

- Экспериментальный стенд №2 - наружное простое стекло М1 и отнесенный на 140 мм однокамерный стеклопакет 4Их16х4 (внешнее И-стекло с теплоотражающим покрытием, направленным в теплую сторону, внутреннее простое стекло, в межстекольном пространстве - воздух). Два вентилятора установлены для работы на приток и вытяжку с регулируемым расходом воздуха. На входе воздушного потока оборудовано регулируемое распределительное сопло и щель с изменяемой шириной, на выходе воздушного потока также установлено регулируемое распределительное сопло;

- Экспериментальный стенд №3 - наружное простое стекло М1 и отнесенная на 140мм спаренная рама с двумя простыми стеклами М1. Два вентилятора установлены для работы на приток и на вытяжку с изменяемым расходом воздуха. На входе воздушного потока установлены регулируемое распределительное сопло и щель с изменяемой шириной, на выходе воздушного потока – также оборудовано регулируемое распределительное сопло. В ряде испытаний использовались стекла с

теплоотражающими покрытиями;

- Экспериментальный стенд №4 - наружное К-стекло с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, а также отнесенная на 140 мм спаренная рама с одним внешним простым стеклом М1. На расстоянии 30 мм от наружного стекла установлен светопрозрачный теплоотражающий экран из К-стекла (по бокам щели шириной 30 мм, сверху – регулируемое распределительное сопло и щель с изменяемой шириной). Два вентилятора установлены для работы на приток и вытяжку с регулируемым расходом воздуха. На входе воздушного потока установлены регулируемое распределительное сопло и щель с изменяемой шириной, на выходе воздушного потока также оборудовано распределительное сопло;

- Экспериментальный стенд №5 - наружное К-стекло с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, а также на расстоянии 12 мм от наружного стекла установлен стеклопакет 4Их16х4 (боковые стороны и низ заделаны герметиком, сверху имеется распределительное сопло толщиной 5 мм). Два вентилятора установлены для работы на приток и на вытяжку с регулируемым расходом воздуха по приточному и по вытяжному расходомеру. На входе воздушного потока установлены регулируемое распределительное сопло и щель с изменяемой шириной, на выходе воздушного потока – регулируемое распределительное сопло.

Всего в ходе экспериментов было исследовано более 100 различных ситуаций. В каждом из экспериментальных модулей (рис.2) была обеспечена возможность установки дополнительных теплоотражающих экранов, изменения расстояния между экранами и светопропускающим заполнением, объема приточного воздуха, размеров распределительных сопел и щелей, а также других параметров испытываемой конструкции.

Испытания были проведены в модернизированной климатической камере ЭК-10 НИИСФ РААСН, позволявшей моделировать процесс активной рекуперации выходящего теплового потока посредством одновременного создания перепада температуры и давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях экспериментального образца, а также специальных условий для активной рекуперации наружным воздухом теплового потока и влаги, выходящих из помещения, за счет использования свойств турбулентных воздушных потоков в воздушной среде и условий для теплоотражения.

Измерения оконного блока проводились в соответствии с ГОСТ 26602.1–99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче». Температурные условия при испытаниях составляли:

- в холодной части климатической камеры - –28 °С;
- в теплой части климатической камеры - +19 °С.

В исследованиях использовались канальные радиальные вентиляторы 100 VKO VENTS малой мощности (9-14 Вт), расход воздуха в экспериментах изменялся в диапазоне от 56 до 9 м3/ч.

Размеры входных и выходных распределительных сопел могли варьироваться от 0 до 10 мм, ширина входных щелей могла меняться от 3 до 10 мм.

Датчики температуры и теплового потока размещались на поверхностях остекления оконного блока и в межстекольном пространстве по вертикальной и горизонтальной осям в центрах однородных температурных зон. Для получения более полной информации о теплопередаче в ЭВОК и ЭВСОК дополнительно устанавливались датчики температуры внутри конструкции и датчики на наружной поверхности остекления оконного блока, откалиброванные для проведения измерений в зоне отрицательной температуры.

В последующих расчетах энергетической эффективности исследуемой

конструкции использовались результаты измерений в областях оконного блока, свободных от влияния краевых эффектов. Результаты измерений в области краевых эффектов использовались при анализе процессов в целом. Для измерения расхода воздуха через ЭВОК и ЭВСОК использовались расходомеры с диаметром входного канала 100 мм.

Для определения общего характера движения воздушного потока устанавливались датчики визуализации потока. Направление воздушных потоков корректировалось соплами, установленными на щелях, а также вентиляторами, установленными на притоке и вытяжке воздушного потока.

Фотографии экспериментального стенда приведены на рис. 3 и 4. В ходе исследований экспериментальные стенды совершенствовались и модернизировались. Установленные в климатической камере вентиляторы моделировали ветровую нагрузку и вытяжную тягу системы вентиляции в здании в целом.



а. б.

Рисунок 3. Вид экспериментального стенда в НИИСФ с холодной стороны.
а. вентилятор и расходомер на выходе; б. вентилятор на притоке (внизу).



а. б.

Рисунок 4. Экспериментальный стенд в НИИСФ (вид с теплой стороны).
а. - одиночное стекло; б. - два стекла и экран из К-стекла на относе в 30 мм.

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 и их элементах;
- 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 нагревшегося в пространстве между экранами воздуха с применением современного поколения рекуператоров, в том числе с рекуперацией тепла и влаги вентвыбросов с КПД более 90%.

Как уже отмечалось ранее, 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. 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 два показателя:

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

   Куп = qт (ц) / qх (ц) (1)

2. Коэффициент рекуперации (возвращения) выходящего теплового потока (Крп), который определяется в процентах от плотности входящего теплового потока:

   Крп = (qт (ц) - qх (ц)) х 100% / qт (ц), (2)

где: qт (ц) и qх (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. 5) при выключенном и включенном режиме активной рекуперации выходящего теплового потока.



Рисунок 5. Результаты измерения выходящего теплового потока при выключенном и включенном механизме активной рекуперации

Испытания, представленные на рис.5, проводились с использованием одного из вариантов экспериментального стенда (рис.2б). При этом, помимо изначального наружного простого стекла М1 и отнесенного на 140 мм от него однокамерного стеклопакета 4Их16х4, в межстекольном пространстве на относе 64 мм от наружного стекла был установлен светопрозрачный экран из К-стекла с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, а на относе 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 – 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.

Все остальные измерения (11 – 40) проводились в условиях функционирования механизма активной рекуперации выходящего теплового потока. На рис.5 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).

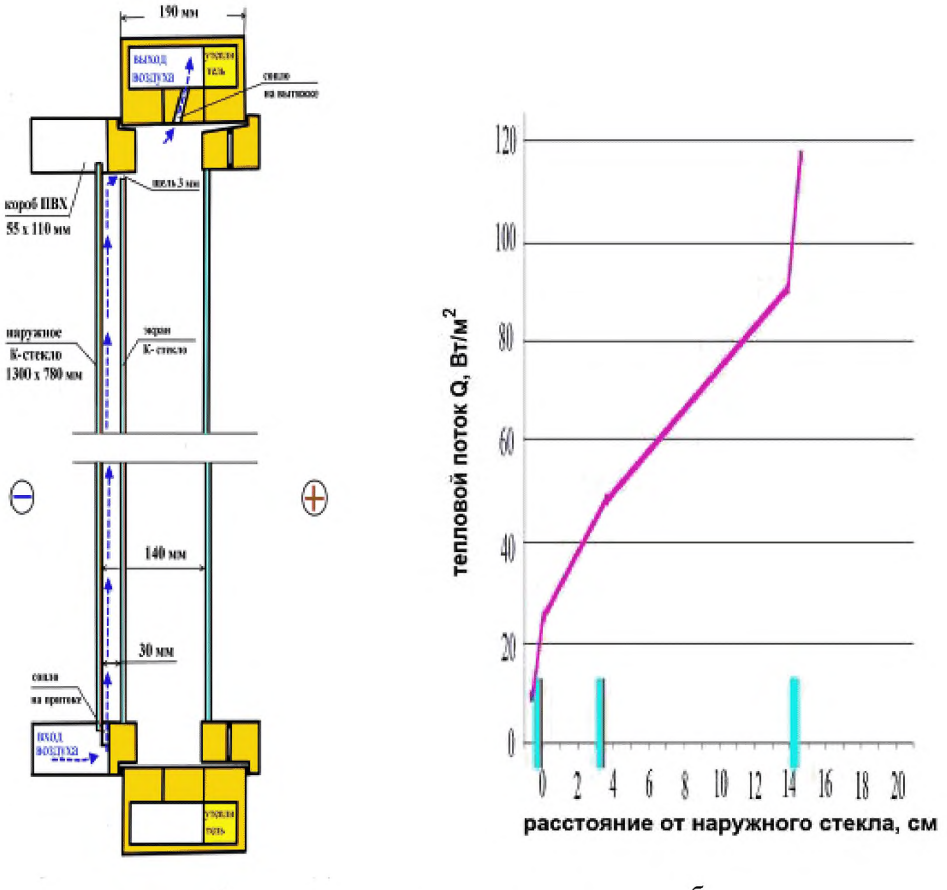
Из обсуждаемого рисунка очевидна эффективность влияния предложенного механизма активной рекуперации на величину выходящего теплового потока – в различных областях он снижается (измерения 20 – 40) в 8 – 12 раз по сравнению с первоначально установившимся потоком (измерения 2 – 10).

Результаты исследований наиболее показательных вариантов конструкций ЭВСОК приведены на рис. 6 – 8.

Вариант 1 (рис.6) - 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». Вентиляторная стойка включена.

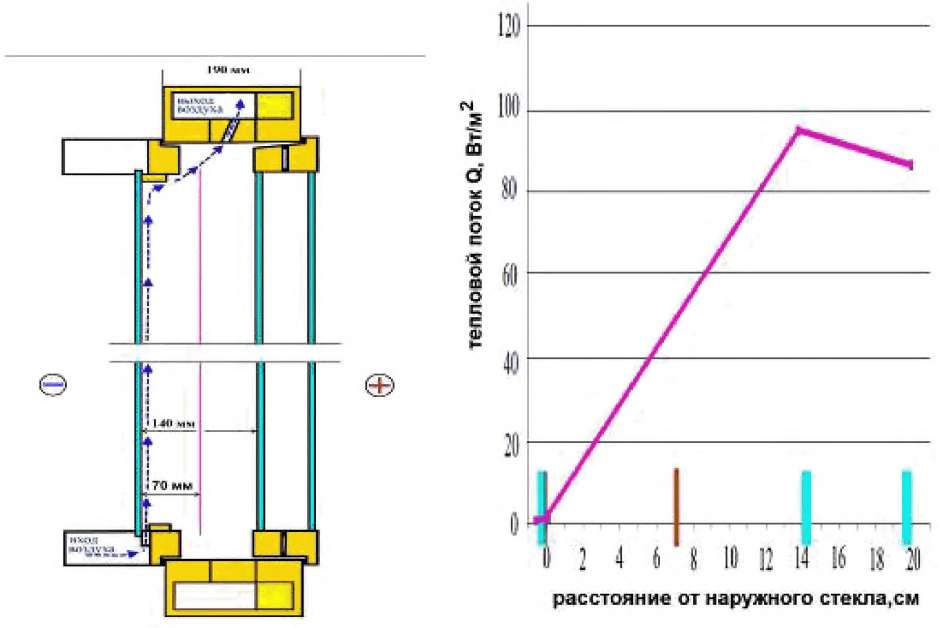
Вариант 2 (рис.7) - наружное К-стекло с теплоотражающим покрытием, обращенным в теплую сторону, и отнесенная на 140 мм спаренная рама с двумя простыми стеклами, на расстоянии 70 мм от наружного стекла установлен непрозрачный теплоотражающий экран из алюминиевой фольги (по бокам, сверху и внизу экрана оставлены щели), два вентилятора работают на приток и вытяжку с расходом 26м3/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.8) - 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 м³/ч. На входе воздушного потока установлены распределительное сопло 10 мм и щель 3 мм, на выходе - распределительное сопло 10 мм. Вентиляторная стойка включена.



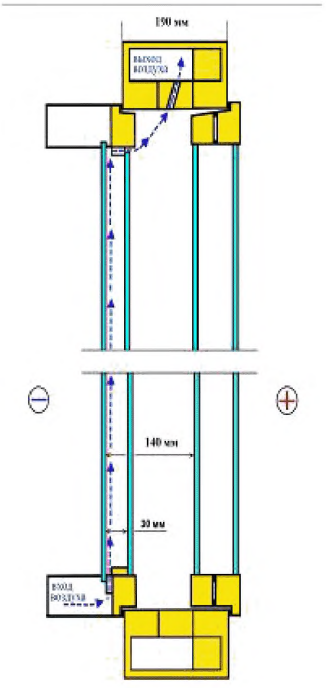
а. б.

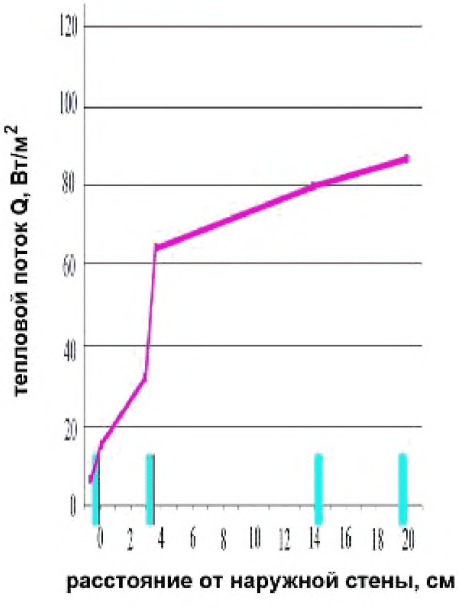
Рисунок 6. Схема экспериментального стенда (а) и результаты экспериментов (б).



а. б.

Рисунок 7. Схема экспериментального стенда (а) и результаты экспериментов (б).





а. б.

Рисунок 8. Схема экспериментального стенда (а) и результаты экспериментов (б).

Основные результаты проведенных в 2013 – 2014 годах исследований сведены в таблицы 1 – 3.

Таблица 1

Результаты испытаний светопрозрачных конструкций в соответствии с экспериментальной схемой №4 (Рис. 2 г) – тепловые потоки

№	СПК / ЭС №4	ТЭ	П	qx	qт	Rоф	Куп	Крп	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

Таблица 2

Результаты испытаний светопрозрачных конструкций в соответствии с экспериментальной схемой №2 и №5 (Рис. 2 б и 2 д) – тепловые потоки

№	СПК / ЭС №2 и №5	ТЭ	П	qx	qт	Rоф	Куп	Крп	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 №3 и №5 (Рис. 2 в и 2 д) – тепловые потоки

№	СПК / ЭС №3 и №5	ТЭ	П	qx	qт	Rоф	Куп	Крп	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, $м^3$/час;
- qx, qт- плотности выходящего теплового потока с холодной и теплой стороны светопрозрачной конструкции, Вт/ $м^2$;
- Rоф – условное сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции,

определяемое как ΔТ / qx, $м^{2o}С/Вт$;

- Куп – коэффициент уменьшения плотности выходящего теплового потока, отн.ед.;

- Крп – коэффициент рекуперации (возвращения) выходящего теплового потока, %;

- ΔТ - 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;

- Примечание 1 – данные приведены для конструкции, соответствующей ГОСТ 23166 – 99 «Блоки оконные. Общие технические условия»;

- Примечание 2 - теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 12 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;

- Примечание 3 - то же, что и в Примечании 2, но работал только вытяжной вентилятор, а приточный был выключен; измерения проводились по приточному расходомеру;

- Примечание 4 – теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 30 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;

- Примечание 5 – то же, что и в Примечании 4, но работал только вытяжной вентилятор, а приточный был выключен; измерения проводились по приточному расходомеру;

- Примечание 6 – теплоотражающий экран в виде К-стекла расположен на расстоянии 64 мм от наружного стекла, покрытие обращено в теплую сторону;

- Примечание 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;

- Примечание 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;

- Примечание 9 - на расстоянии 12 мм от наружного остекления в качестве теплоотражающего экрана был временно установлен и зафиксирован однокамерный стеклопакет 4Их16х4 (внешнее И-стекло с теплоотражающим покрытием, направленным в теплую сторону, внутреннее простое стекло, в межстекольном пространстве - воздух), работал только вытяжной вентилятор;

- Примечание 10 - в данном варианте ЭС №2 была проведена оптимизация условий подачи воздушного потока и увеличен расход воздуха;

- Примечание 11 - в данном варианте ЭС №3 были включены вентиляторы на приток и на вытяжку с расходом 26 $м^3$/час;

- Примечание 12 - в данном варианте ЭС №3 было установлено наружное К-стекло с покрытием в теплую сторону, работали оба вентилятора с расходом воздуха 26 $м^3$/час;

- Примечание 13 - в данном варианте ЭС №3 на расстоянии 70мм от наружного К-стекла были установлены жалюзи из полированной алюминиевой фольги толщиной 12 мкм, работали оба вентилятора с расходом воздуха 26 $м^3$/час.

Анализ исследований нового поколения ограждающих и светопрозрачных конструкций в 2013 – 2014 годах (рис. 6 – 8, табл. 1 – 3) в климатических камерах НИИСФ РААСН позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Эксперименты подтвердили очень высокую эффективность предложенных авторами ограждающих (ЭВОК) и светопрозрачных (ЭВСОК) конструкций. Условное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций может быть повышено в десятки раз при использовании активной рекуперации выходящего теплового потока.
2. При оптимальном применении ЭВОК и ЭВСОК возможно обеспечить коэффициент рекуперации (возврат обратно в помещение) выходящего теплового потока до 0.9 – 0.94, что свидетельствует о практически полном исключении теплопотерь из помещений через оболочку зданий.
3. В ходе проведенных исследований для широкого класса ограждающих и светопрозрачных конструкций были установлены оптимальные режимы обеспечения эффективной продольно-поперечной вентиляции воздушной прослойки – определены необходимые скорости потока входящего воздуха, размеры распределительных сопел и щелей на входе и выходе воздушного потока.
4. На основе проведенных исследований были определены направления дальнейших необходимых исследований ЭВОК и ЭВСОК, а также их использования в зданиях различного назначения для обеспечения реального энергосбережения в строительной отрасли.

Следует отметить также и некоторые проблемные моменты, выявившиеся в ходе проведенных нами исследований ЭВОК и ЭВСОК с активной рекуперацией выходящего теплового потока, которые необходимо решать в области совершенствования нормативно-технической документации:

1. Нуждается в некоторой корректировке нормативная база, традиционная методика и диапазоны регистрации выходящих тепловых потоков в климатических камерах и других лабораторных установках, а также при проведении натурных испытаний.

Список литературы

1. Патент №143372.
2. Беляев В.С., Хохлова Л.П. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных зданий. М., Высшая школа, 1992 г.
3. Беляев В.С., Граник Ю.Г., Матросов Ю.Л. Энергоэффективность и теплозащита зданий. М, издательство АСВ, 2012 г.
4. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003».
5. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*».
6. Руководство. Требования по составу и содержанию энергетического паспорта проекта энергоэффективности жилого и общественного здания с методикой определения классов энергоэффективности. М., 2011 г.
8. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». Свод правил.
9. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. М., Правительство Москвы, 2002 г.
10. СП 60.13330.2012 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование».
11. СП 54.13330.2011 «СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные».
12. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Технологии активного энергосбережения.// *СтройПРОФИ*. №4, 2014, С.22 – 26.
13. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Новый подход к повышению энергоэффективности зданий.// *Энергосбережение*. №5, 2014, С. 45 – 52.
14. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Принципы проектирования и оценки наружных ограждающих конструкций с использованием современных технологий «активного» энергосбережения и рекуперации теплового потока. // *Жилищное строительство*. №6, 2014, С. 8 – 13.
15. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Системы с активной рекуперацией теплового потока в ограждающих конструкциях зданий.// *СтройПРОФИ*. №5, 2014, С. 24 – 27.
16. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Создание наружных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты.// *Энергосбережение*. №6, 2014, С.26 – 33.
17. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Энергоэффективные вентилируемые ограждающие конструкции с активной рекуперацией выходящего теплового потока.// *Жилищное Строительство*. №10, 2014, С. 38 – 42.
18. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Светопрозрачные и фасадные конструкции с активной рекуперацией теплового потока.// *ЕвроСтройПрофи*. №77/2014, С.18 – 22.
19. Т.А.Ахмяров, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Энергоэффективные вентилируемые светопрозрачные ограждающие конструкции.// *Энергосбережение*. №8, 2014, С.62 – 65.
20. В.С.Беляев, В.А.Лобанов, Т.А.Ахмяров Децентрализованная приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла// *Жилищное строительство*. №3, 2011, С. 73-77.
21. Т.А.Ахмяров, В.С.Беляев, А.В.Спиридонов, И.Л.Шубин Система активного энергосбережения с рекуперацией тепла// *Энергосбережение*, №4, 2013, С. 36 – 46.
22. К.Ф.Фокин Строительная теплотехника ограждающих частей зданий// Москва, АВОК-ПРЕСС. 2006, 252 С.

gost.e-ecolog.ru