

УДК 692.232.45

*В.С. БЕЛЯЕВ, канд. техн. наук,
ОАО «Центральный научно-исследовательский и проектный институт
жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)» (Москва)*

Наружные ограждения с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного тепла

Представлены технические решения и исследования в климатической камере вентилируемых окон при двухмерной фильтрации воздуха с эффектом рекуперации как трансмиссионного, так и вентиляционного тепла. Разработаны технические решения вентилируемых окон НОРТ-2 с двойным движением воздуха, позволяющие экономить не только трансмиссионное и вентиляционное тепло, но и обеспечить необходимый приток воздуха в помещение.

Ключевые слова: трансмиссионное тепло, вентиляционное тепло, рекуперация, теплоемкость, плотность воздуха.

В предыдущих статьях [1, 2] писалось о тепловой эффективности наружных вентилируемых ограждений с рекуперацией трансмиссионного тепла (НОРТ-1), о возможностях применения их для вентиляции помещений, о методах их расчетов [3] (рис. 1).

Отмечены особенности наружных ограждающих конструкций с вентиляционными устройствами с однонаправленным одинарным движением воздуха.

Принцип устройства стен (НОРТ-1) – рекуперация (возвращение) трансмиссионного теплового потока движущимся воздухом в помещение (рис. 1). Наружный воздух поступает в вентилируемую прослойку через приточные отверстия внизу наружного защитного слоя, поднимается вверх по прослойке и входит в помещение через приточные отверстия сверху внутреннего слоя.

Поскольку теплотери через окна значительно выше, чем через стены, актуально применение аналогичных решений, основанных на вышеупомянутом эффекте рекуперации теплового потока (рис. 2), для окон.

Представленный на рис. 2 оконный блок представляет собой двухстворчатое окно раздельной конструкции, состоящее из большой (широкой) 1 и узкой 2 створки из внутреннего и наружного светопрозрачных слоев и воздушной вентилируемой прослойки 3 между ними.

Широкая створка имеет двойное остекление (стеклопакет) во внутреннем переплете и листовое стекло в наружном. Широкая створка имеет притворы наружной створки без уплотняющих прокладок. Узкая створка имеет уплотняющие воздухонепроницаемые прокладки во всех притворах как внутреннего, так и наружного переплета. Внутренняя часть широкой створки имеет двойное остекление в виде однокамерного стеклопакета и притворы с уплотняющими воздухонепроницаемыми прокладками.

Широкая и узкая створки разделены импостом 4 с отверстиями 5 в его нижней половине, сообщающими широкую и узкую створки.

Узкая створка имеет остекление в виде однокамерных стеклопакетов во внутреннем и наружном переплетах.

Узкая створка является разрезной по высоте, имеет во внутреннем переплете форточку, ширина открывания кото-

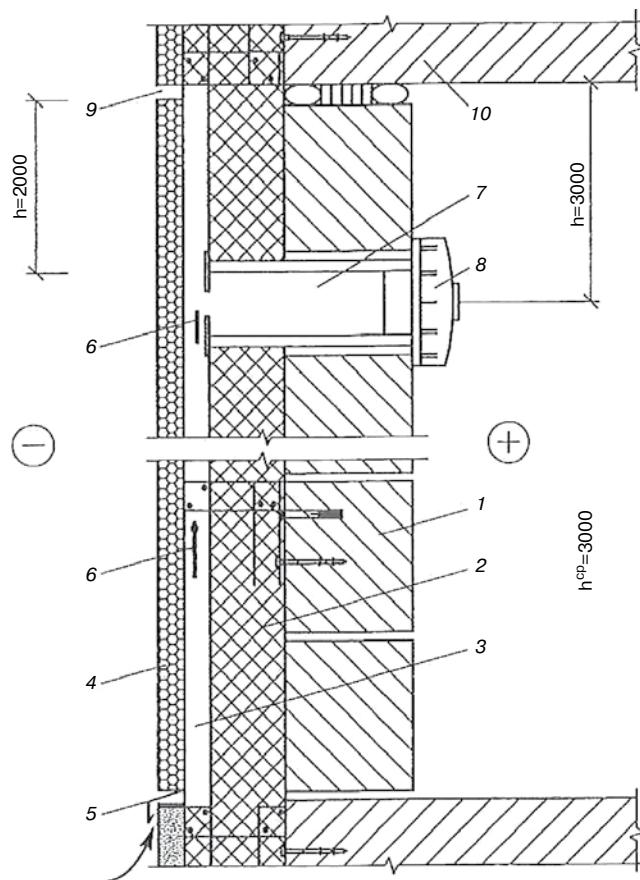


Рис. 1. Принципиальная конструкция эффективной наружной стены с организованным воздухообменом: 1 – основание стены; 2 – утеплитель (пенобетон); 3 – вентилируемая прослойка; 4 – экран; 5 – воздухозаборная щель; 6 – движение воздуха; 7 – приточное отверстие; 8 – регулируемый клапан; 9 – воздухоотводящая щель; 10 – междуэтажное перекрытие

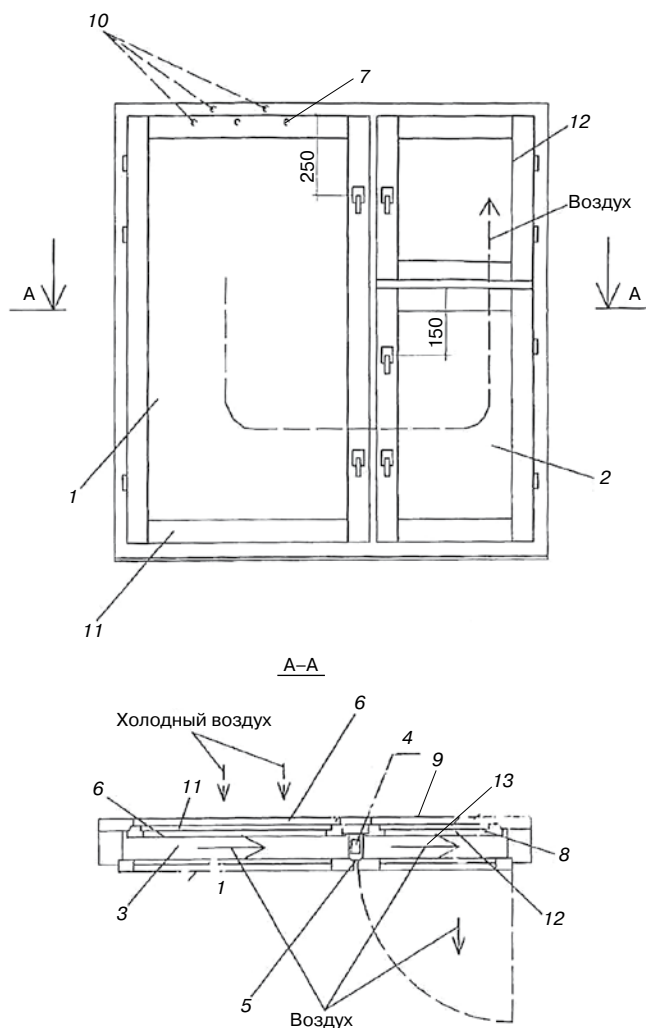


Рис. 2. Оконный блок с рекуперацией трансмиссионного теплового потока: 1 – широкая створка; 2 – узкая створка; 3 – вентилируемая прослойка; 4 – отверстие; 5 – импост; 6 – теплоотражающий экран или стекло с низкоэмиссионным селективным покрытием; 7, 10 – приточные отверстия; 8 – уплотняющие прокладки; 9 – наружная форточка; 11 – коробка; 12 – внутренняя форточка; 13 – воздушная вентилируемая прослойка; 14 – вытяжная щель; 15 – выходное отверстие; 16 – слив конденсата

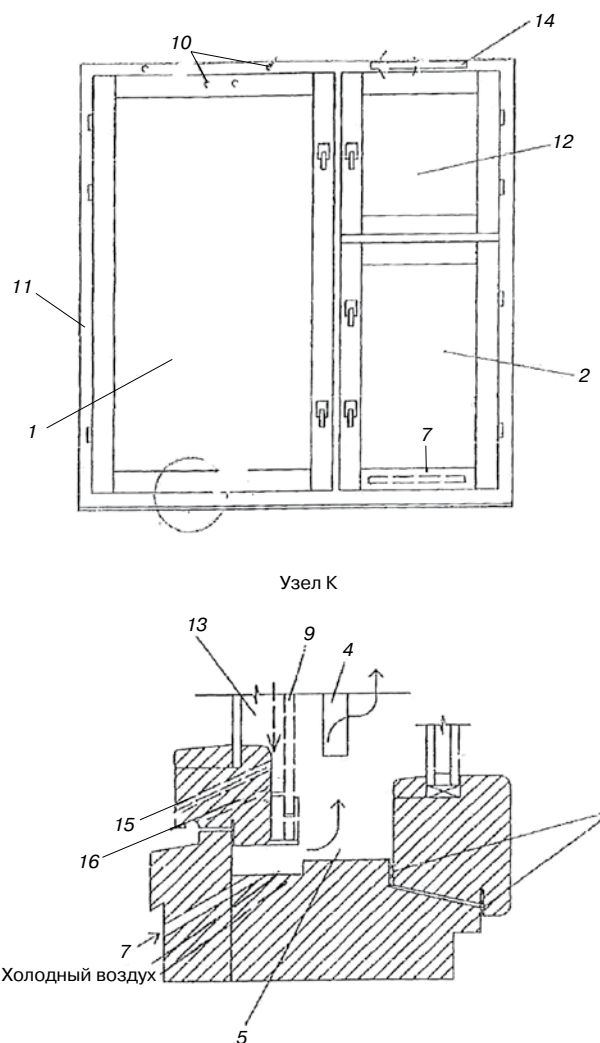


Рис. 3. Оконный блок с остекленной узкой створкой с рекуперацией трансмиссионного и вентиляционного тепловых потоков: 1 – широкая створка; 2 – узкая створка; 3 – вентилируемая прослойка; 4 – отверстие; 5 – импост; 6 – теплоотражающий экран или стекло с низкоэмиссионным селективным покрытием; 7, 10 – приточные отверстия; 8 – уплотняющие прокладки; 9 – наружная форточка; 11 – коробка; 12 – внутренняя форточка; 13 – воздушная вентилируемая прослойка; 14 – вытяжная щель; 15 – выходное отверстие; 16 – слив конденсата

рой регулируется. В наружном слое в верхней части узкой створки может располагаться клапан (форточка), которая в зимнее время закрыта.

Наружное остекление имеет с внутренней стороны теплоотражающее покрытие или теплоотражающий экран 6.

Наружный воздух поступает внутрь конструкции оконного блока через неуплотненные притворы наружной большой (широкой) створки и через отверстия в коробке или раме 7 в широкой створке окна.

Если внести некоторые конструктивные дополнения, т. е. модернизировать представленный на рис. 2 оконный блок, то можно добиться экономии не только трансмиссионного, но и вентиляционного тепла.

Принцип работы таких стен с двойным движением воздуха (НОРТ-2) (рис. 3, 4) 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-2-п характерны тем, что воздух в них может проходить через вентилируемые прослойки как в одном, так и в разных направлениях.

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

Модернизация рекуператора трансмиссионного тепла в рекуператор также и вентиляционного тепла заключается в устройстве в воздушной прослойке 5 перегородки с высокой теплопроводностью и выполнением в верхней части узкой створки (и в коробке) и в нижней части (в раме) узкой створки зазоров (щелей) для прохода воздуха из помещения (рис. 3, 4).

Рекуперация трансмиссионного тепла происходит при движении вверх наружного воздуха по воздушной прослойке

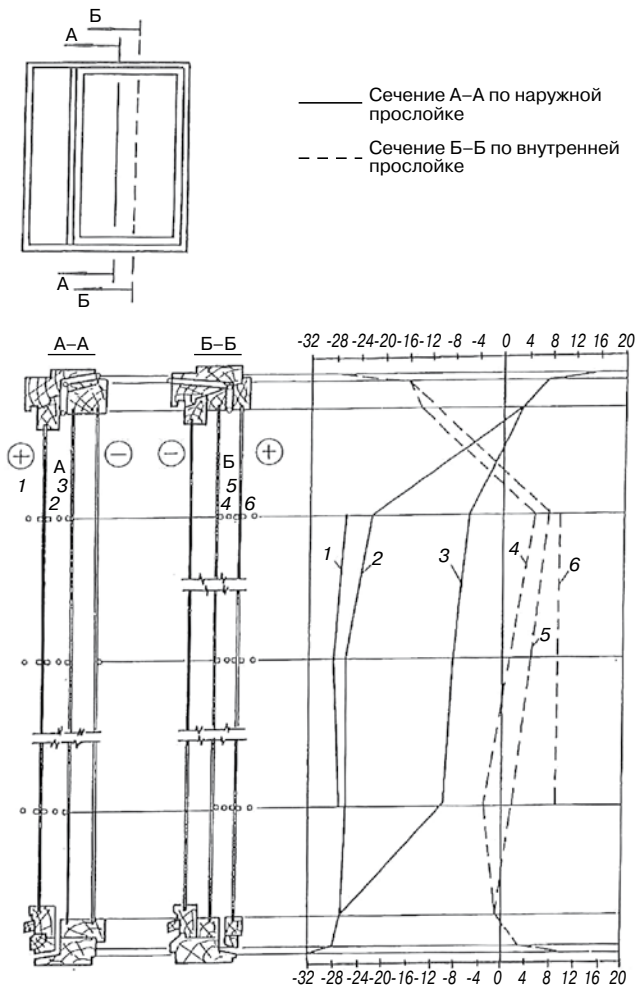


Рис. 4. Распределение средней температуры, приведенной к расчетным значениям $t_{в} = -32^{\circ}\text{C}$ и $t_{с} = +20^{\circ}\text{C}$, на поверхностях окон при $\Delta P = 0$; 1–6 – поверхности стекла

ке 3 в помещение вентиляционного тепла – при движении внутреннего воздуха по наружной прослойке 7, образованной перегородкой 9, наружу (рис. 3, 4).

Причем система по наружному воздуху работает при открытой форточке 12, а система по внутреннему воздуху работает при открытой щели 14 над узкой створкой.

Приток наружного воздуха в помещение осуществляется через отверстия 10 в верхней части коробки 11, раме, большой (широкой) створки 1, через перфорацию в импосте 5 и через проем открытой внутренней форточки 12 узкой створки 2.

Выход воздуха из помещения осуществляется через щель 14 в верхней части коробки узкой створки 2, далее вдоль окна по воздушной прослойке 13 через зазор (щель) в нижней части узкой створки 15.

Предлагаемая система может работать как в режиме экономии трансмиссионного тепла, так и в режиме экономии вентиляционного тепла, и в режиме экономии обоих видов тепла. В последнем случае осуществляется экономия как трансмиссионного, так и вентиляционного тепла.

Движение указанных потоков воздуха может осуществляться как естественным путем, так и с помощью вентиляторов.

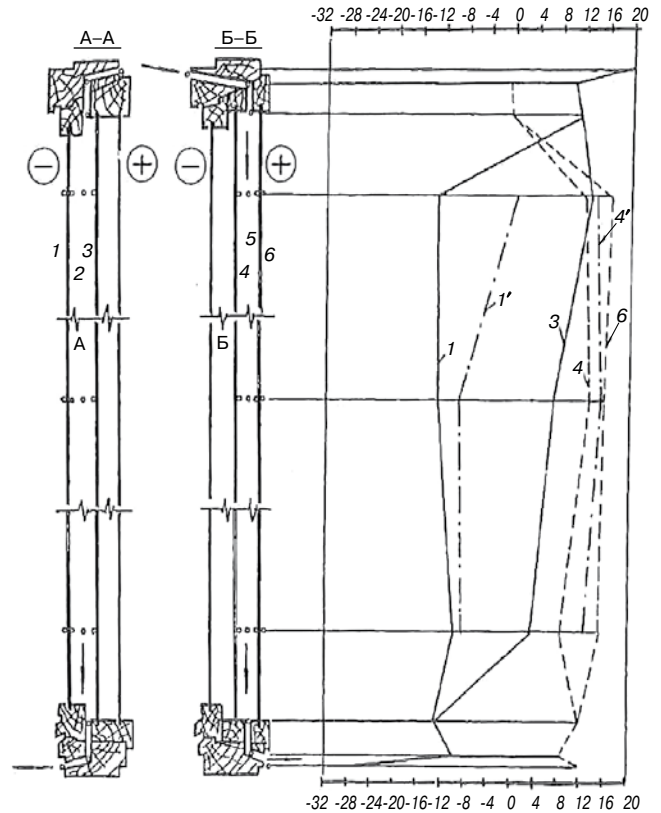


Рис. 5. Распределение температуры при расчетных значениях $t_{в} = -32^{\circ}\text{C}$ и $t_{с} = +20^{\circ}\text{C}$ на поверхностях стекол (1, 3, 4, 6) и в прослойках (1' и 4') при инфильтрации $\Delta P = -10$ Па. Условные обозначения см. на рис. 4

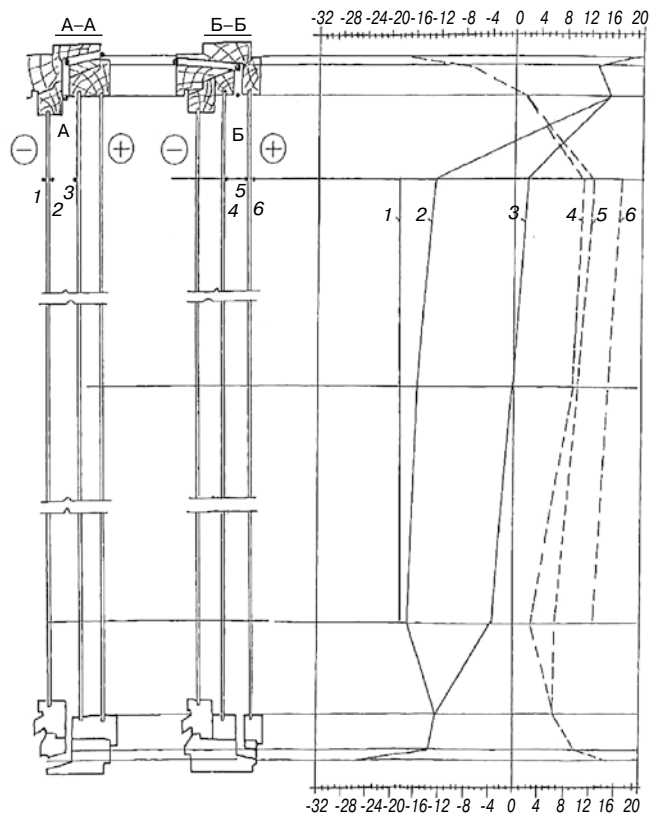


Рис. 6. Распределение средней температуры, приведенной к расчетным значениям $t_{в} = -32^{\circ}\text{C}$ и $t_{с} = +20^{\circ}\text{C}$, на поверхностях стекол при эксфильтрации в обеих воздушных прослойках А и Б, $\Delta P = 30$ Па. Условные обозначения см. на рис. 4

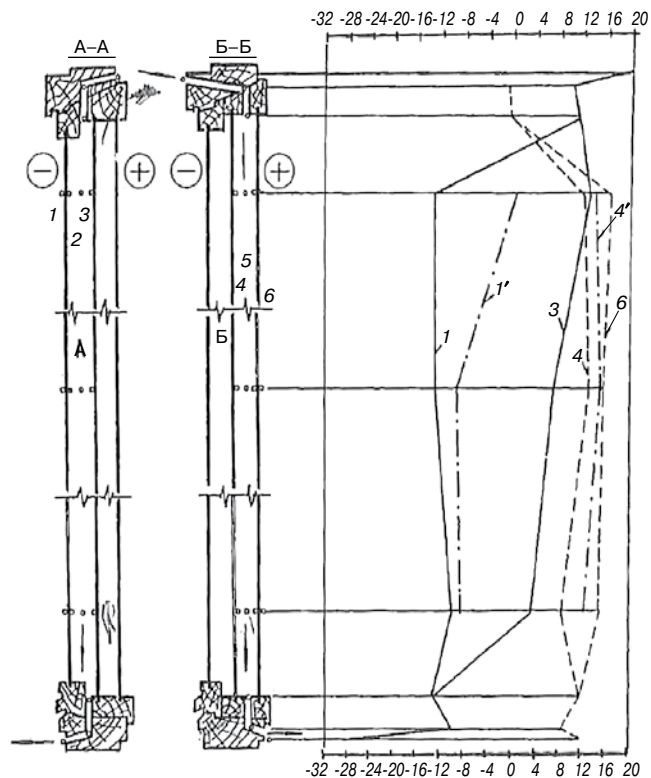


Рис. 7. Распределение температуры при расчетных значениях $t_n = -32^\circ\text{C}$ и $t_b = +20^\circ\text{C}$ на поверхностях стекол (1, 3, 4, 6) и в прослойках (1' и 4') при эксфильтрации через наружную прослойку (А) и инфильтрации через внутреннюю прослойку (Б), $\Delta P_A = 6 \text{ Па}$, $\Delta P_B = 10 \text{ Па}$. Условные обозначения см. на рис. 4

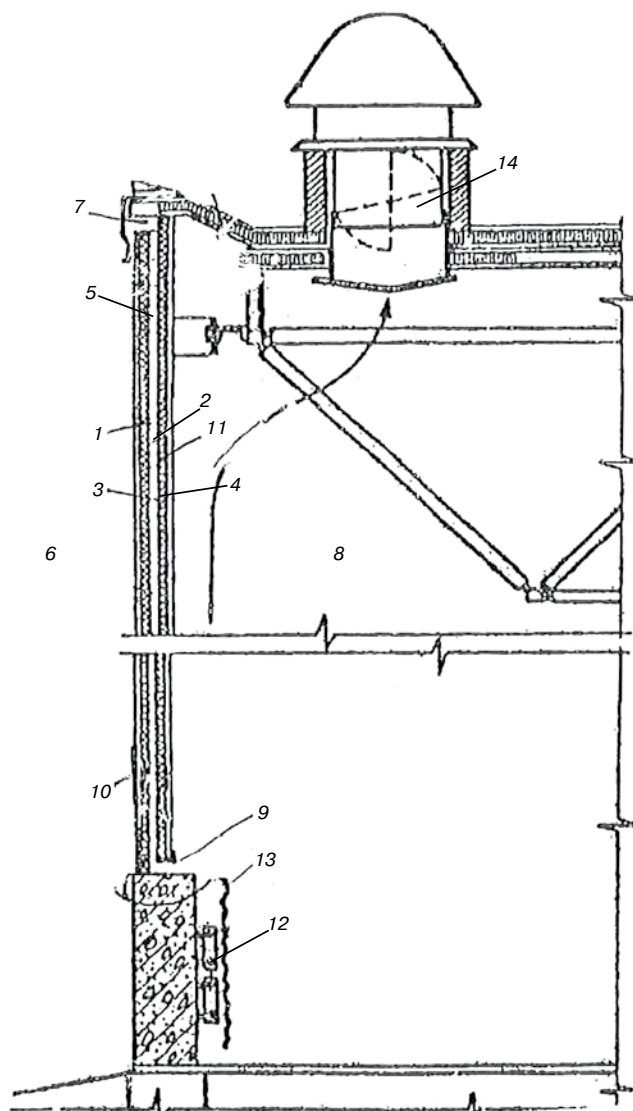


Рис. 9. Наружное ограждение, совмещенное с системой вентиляции: 1, 2 – наружный и внутренний слои; 3, 4 – наружный и внутренний утеплители; 5 – воздушная прослойка; 6 – атмосфера; 7 – приточное отверстие; 8 – помещение; 9 – приточная щель; 10, 11 – полупанели; 12 – нагреватель; 13 – экран; 14 – вентилятор

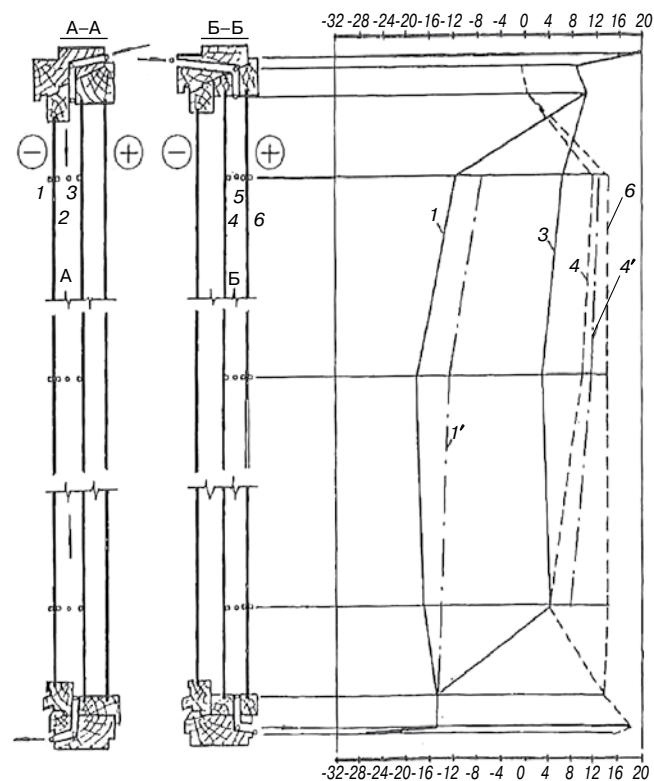


Рис. 8. Распределение температуры при расчетных значениях $t_n = -32^\circ\text{C}$ и $t_b = +20^\circ\text{C}$ на поверхностях стекол (1, 3, 4, 6) и в прослойках (1' и 4') при эксфильтрации через наружную прослойку (А) и инфильтрации через внутреннюю прослойку (Б), $\Delta P_{AB} = 24 \text{ Па}$, $W = 16,5 \text{ м}^3/\text{ч}$

В нижней части узкой створки имеются отверстия 16 для выпуска возможного конденсата.

Система позволяет сэкономить как трансмиссионное, так и вентиляционное тепло (более 50% тепла, теряемого зданием на отопление и вентиляцию).

Исследования таких окон, проведенные в климатических камерах ЦНИИЭП жилища, позволили показать распределение температур по сечению окна:

- без его вентиляции при $\Delta P = 0 \text{ Па}$ (рис. 4);
- с вентиляцией инфильтрацией по обеим воздушным прослойкам при $\Delta P = 10 \text{ Па}$ (рис. 5);
- при эксфильтрации по обеим воздушным прослойкам $\Delta P = 30 \text{ Па}$ (рис. 6).

На рис. 6 видно резкое повышение температуры поверхности стекол (\approx на 8°C) по сравнению с $\Delta P = 0 \text{ Па}$ (рис. 3) и отсутствием принудительной вентиляции окон. Температура внутренней поверхности окна достигала 16°C (рис. 6).

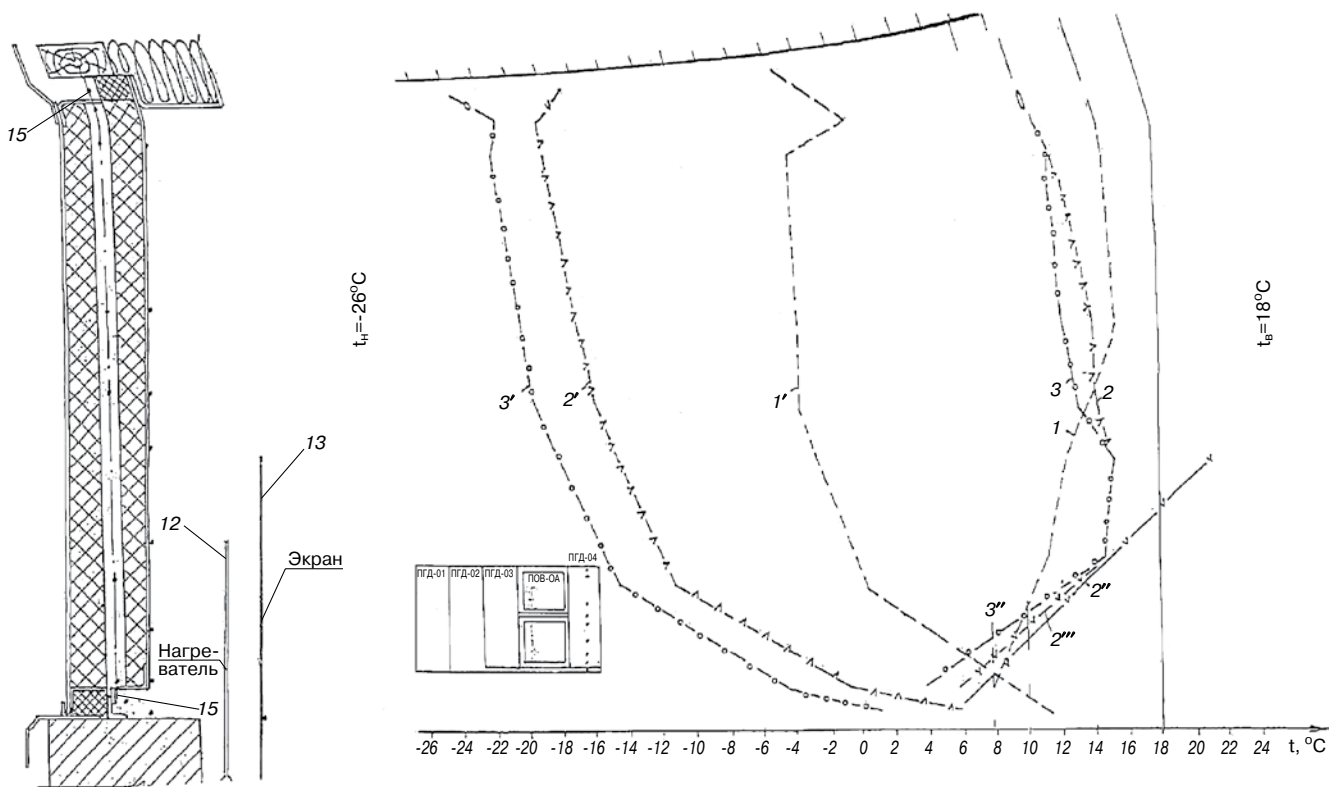


Рис. 10. Распределение температур, приведенных к $t_w = +18^\circ\text{C}$ и $t_n = -26^\circ\text{C}$, на внутренней поверхности ограждения под экраном (кривые 2', 3'), на экране 2'' и в толще воздушной прослойки (кривые 1', 2', 3') при наличии продольной инфильтрации воздуха через прослойку в легкой навесной вентилируемой глухой панели ПВА-04 при условиях режимов испытаний (номера кривых соответствуют номеру режима): режим 1 – клапаны закрыты, расход воздуха через канал $W = 0$; режим 2 – клапаны открыты, расход воздуха через канал $W = 21 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м})$; режим 3 – то же, расход воздуха через канал $W = 22 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м})$, разность давлений $\Delta P = 2 \text{ Па}$ (0,2 мм. вод. ст., $V = 2,5 \text{ м/с}$). Условные обозначения см. на рис. 9

Как видно на рис. 7, 8, воздух, движущийся по наружной прослойке (экспериментальная инфильтрация) в количестве $16 \text{ м}^3/\text{ч}$, остывает с 20 до -27°C , т. е. на 47°C , а движущийся по внутренней прослойке (инфильтрация) нагревается с 0 до 18°C , т. е. экономия тепла составит $156 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Из анализа рисунка следует, что при двойном попутном движении воздуха в количестве $16 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $t_{\text{ext}} = -32^\circ\text{C}$ и $t_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}$ при температуре входящего в наружную прослойку воздуха $t_{\text{о(з)}} = 3^\circ\text{C}$, а во внутреннюю – $t_{\text{о(в)}} = -20^\circ\text{C}$ и коэффициентах теплопередачи $K_b = 8,25$, $K_{\text{ср}} = 11$ и $K_n = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ температура на расстоянии 1 м от входа составляет во внутренней прослойке 8°C (от 0°C – нагрев), по наружной – 0°C (от 18°C – охлаждение).

Еще более интенсивная теплопередача отмечается в зоне входных и выходных отверстий: $t_{(1)} = 0^\circ\text{C}$ (нагрев от 0°C до 16°C) и $t_{(2)} = -27,5^\circ\text{C}$ (охлаждение от $+18^\circ\text{C}$).

На рис. 9 изображено наружное ограждение, совмещенное с системой вентиляции.

Наружное ограждение состоит из наружного 1 и внутреннего 2 воздухопроницаемых слоев с расположенными между ними наружными 3 и внутренними 4 слоями утеплителя, между которыми находится воздушная прослойка, соединяющаяся 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 воздухопроницаемый 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. Отверстия 7 выполнены в верхней части ограждения, образованы Z-образными профилями 15 и снабжены экраном 13 с высоким коэффициентом теплоотдачи. Отверстия 9 выполнены в нижней части ограждения и снабжены экраном 13, сопряженным с нагревателем или охладителем. Внутренняя полупанель 11 граничит с зоной интенсивного движения вытяжного воздуха, соединенной с вытяжным вентилятором.

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

На рис. 10 дано распределение температуры на поверхности и в толще системы вентиляции, совмещенной с наружными ограждающими конструкциями с вентилируемой прослойкой.

Как видно на рис. 10, вентилирование прослойки в наружной стеновой панели за счет рекуперации уходящего теплового потока уменьшается при расходе воздуха $22 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 412 Вт :

$$\Delta Q_{\text{вых}}^* = 0,28 \cdot c \cdot \Delta t \cdot W \cdot \gamma_t + (\tau_{\text{пр}}^{\text{ср}} - t_{\text{ext}}) \cdot \alpha;$$

$$\Delta Q_{\text{вых}} = [0,28 \cdot 22 \cdot (18 + 26) \cdot 1,3 + (-3 + 26) \cdot 23] -$$

$$- [0,28 \cdot 22 \cdot (18 + 26) \cdot 1,3 + (-22 + 26) \cdot 23] = 412 \text{ Вт/м}^2,$$

где c – удельная теплоемкость, кДж/кг·°С; $\Delta t = t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}$ – температурный перепад между внутренней t_{int} и наружной t_{ext} температурами, °С; $\tau_{\text{пр}}^{\text{ср}}$ – средняя температура в прослойке, °С; α – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, Вт/(м²·°С); W – расход воздуха, м³/ч; γ_t – плотность воздуха, кг/м³.

Заключение

Выполненные исследования и расчеты показали тепловую эффективность предлагаемых решений, подтвержденных расчетным путем и экспериментально.

Выявлена зависимость удельного расхода тепла от расхода воздуха через воздушную прослойку окон с рекуперацией тепла.

Определены более энергоэффективные направления воздушных потоков при двойном движении воздуха НОРТ-2, а также оптимальное расположение вентиляционных клапанов (форточек) для поступления воздуха в помещение:

- при равных значениях коэффициентов теплопередачи и расхода воздуха при попутном движении воздух в наружной прослойке нагревается на 9,6°С, а во внутренней охлаждается на 9,6°С;
- при встречном движении при таких же условиях в наружной прослойке воздух нагревается на 8,5°С, а охлаж-

дается на 8,5°С, т. е. при попутном движении эффект использования тепла больше на 15%.

Разработаны технические решения вентилируемых окон НОРТ-2 с двойным движением воздуха, позволяющие экономить не только трансмиссионное и вентиляционное тепло, но и обеспечивать необходимый приток свежего воздуха в помещение.

Следует оценить возможность образования инея на внутренней поверхности стекол НОРТ-2, поэтому конструированию окон должен предшествовать расчет.

Наружное ограждение НОРТ-2 позволяет эффективно использовать тепло отводимого из помещения воздуха и только за счет этого снизить теплопотери примерно на 50%.

Список литературы

1. *Беляев В.С.* Теплопередача в стыках наружных стен крупнопанельных зданий при двухмерной фильтрации воздуха // *Жилищное строительство*. 2013. № 7. С. 16–20.
2. *Беляев В.С.* Теория угасания температурных колебаний при прохождении их через наружные стеновые панели // *Жилищное строительство*. 2013. № 9. С. 34–36.
3. *Беляев В.С.* Наружные ограждающие конструкции с рекуперацией трансмиссионного тепла // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 10–21.

* Методы теплотехнических расчетов таких конструкций будут представлены как продолжение данной статьи в следующем номере журнала.

ВЕСЕННИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

8 - 11
апреля

Выставки 2014 года
в Выставочном
комплексе
«ВДНХ-ЭКСПО»
ул. Менделеева, 158

УФА-2014



ОТОПЛЕНИЕ ВСЁ для
ВОДОСНАБЖЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ и РЕМОНТА

XVIII специализированная выставка XIX специализированная выставка

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ПРОЕКТ «ЧИСТАЯ ВОДА»

www.bvkexpo.ru

Тел./факс: (347) 253-14-33, 241-74-19, 253-38-00,
e-mail: stroy@bvkexpo.ru

