

Экспериментальные исследования влияния воздушного потока в зазоре на теплозащитные свойства вентилируемых фасадных систем

Т.А. Корнилов, В.В. Амбросьев

Основным элементом вентилируемых фасадных систем (ВФС) является воздушный зазор между защитным экраном и стеной (или утеплителем). Благодаря перепаду давления воздуха, этот зазор работает по принципу действия «вытяжной трубы». В результате этого, из конструкции в окружающую среду удаляется влага, попавшая туда или образовавшаяся за счет конденсации в утеплителе. Воздушный промежуток также снижает теплопотери, выполняя роль температурного буфера. Вместе с тем, в зимний период давление воздуха в зазоре может отрицательно влиять на теплозащитные свойства ВФС при применении волокнистых теплоизоляционных материалов вследствие их высокой воздухопроницаемости. Для исследования данного вопроса в течение зимы проведены экспериментальные исследования температурно-влажностного режима ВФС здания в г. Якутске.

Для определения фактических параметров воздушного потока в зазоре ВФС в качестве исследуемого объекта выбрано 8-этажное здание достаточной сложной формы в плане. Основа фасадной системы здания — стена представляет собой кладку из щебенчатых бетонных блоков толщиной 200 мм. К кладке прикреплены минераловатные плиты марки

«Базальт Вентил-В» плотностью 110 кг/м³ общей толщиной 200 мм. Облицовка фасадной конструкции выполнена из композитных панелей с геометрическими размерами 1,8 × 1,5 м. Облицовочные плиты между собой соединены без продольных швов. Воздушный зазор составляет в среднем 50 мм. Измерения скорости ветра проведена прибором ИСП-МГ4.01 (ООО «Стройприбор», г. Челябинск). Для этого на облицовочной конструкции ВФС здания предварительно были вырезаны отверстия. Измерения проводились систематически через 4 дня.

Проведенные натурные измерения показали, что скорость движения воздуха в воздушном зазоре ВФС небольшая и составляет не более 1 м/с. В табл. 1 приведены некоторые результаты измерений параметров воздушного потока в зазоре ВФС. Из полученных данных видно, что по высоте здания наблюдается небольшое увеличение скорости движения воздуха. При этом можно отметить, что изменение скоростного напора ветра оказывает незначительное влияние на скорость движения воздуха в воздушном зазоре ВФС.

Из данных табл. 1 видно, что температура воздуха в зазоре ВФС снижается с увеличением высоты зда-

№	Направление ветра и скорость, м/с	Температура наружного воздуха, °С	Основные параметры воздушного зазора по отметкам	Отметки здания относительно уровня земли, м					
				10,0	13,4	16,8	21,0	22,8	27
1	Северное. 2 м/с	-18	Скорость, м/с	0,61	0,88	0,97	0,74	0,2	0,53
			Температура, °С	-14	-14	-15	-16	-17	-17
2	Шторм	-28	Скорость, м/с	0,14	0,3	0,34	0,4	0,28	0,5
			Температура, °С	-25	-25	-26	-27	-27	-28
3	Северо-западное. 2 м/с	-16	Скорость, м/с	0,18	0,24	0,32	0,41	0,32	0,6
			Температура, °С	-13	-14	-14	-15	-15	-16

Таблица 1. Фактические параметры воздушного потока в зазоре ВФС здания.

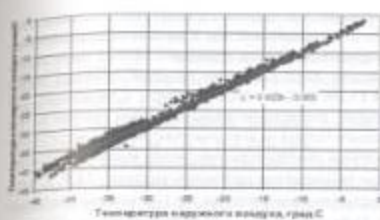


Рис. 1. Экспериментальная зависимость температуры в зазоре ВФС от температуры наружного воздуха.

ния, а по значению немного выше температуры наружного воздуха. В течение зимы на отметке 5,6 м здание проводились непрерывные измерения температуры воздуха в зазоре и наружного воздуха. В результате измерений получены экспериментальная зависимость температуры в зазоре от температуры наружного воздуха в зимний период, которая имеет линейный характер (рис. 1). Установлено, что с повышением температуры наружного воздуха разница между ней и температурой в зазоре уменьшается.

Для определения влияния воздушного потока в зазоре на температурный режим ВФС на существующей стене из щебенчатых бетонных блоков экспериментального здания были смонтированы два варианта теплоизоляции. На первом участке (1) применены в качестве теплоизоляционного слоя стекло-

волоконные плиты фирмы «Isover»: 1-й и 2-й слой — плиты соответственно марки 610-KL 34-100/Y и 610-KL 34-70/Y ($\rho = 20 \text{ кг/м}^3$); наружный слой толщиной 30 мм — кашированные плиты марки РКЛ-В-30/Y с фактической плотностью 77 кг/м³. На втором участке использованы стекловолоконные плиты марки 610-KL 34-100/Y «Isover» низкой плотности ($\rho = 20 \text{ кг/м}^3$) в два слоя без ветрозащитной мембраны. Для регистрации показаний температурных датчиков по толщине стеновой конструкции использован многоканальный универсальный измеритель-регистратор «Терем-4» (ООО «НПП «Интерприбор», г. Челябинск). Обработка данных проводилась с помощью специальной программы с выводом графиков распределения температуры по толщине стеновой конструкции.

В результате натурного эксперимента получены многочисленные данные распределения температуры по толщине ограждающей конструкции с ВФС. Анализ полученных данных температуры показал, график изменения температуры имеет линейный характер в отдельных слоях рассматриваемых конструкций. Уклон графиков изменяется в местах переходов от кладки к теплоизоляционным слоям, что соответствует общей теоретической картине теплообмена. В качестве примера на рис. 2 приведены графики изменения температуры по толщине стены с ВФС при температуре наружного воздуха $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ и $-45 \text{ }^\circ\text{C}$.

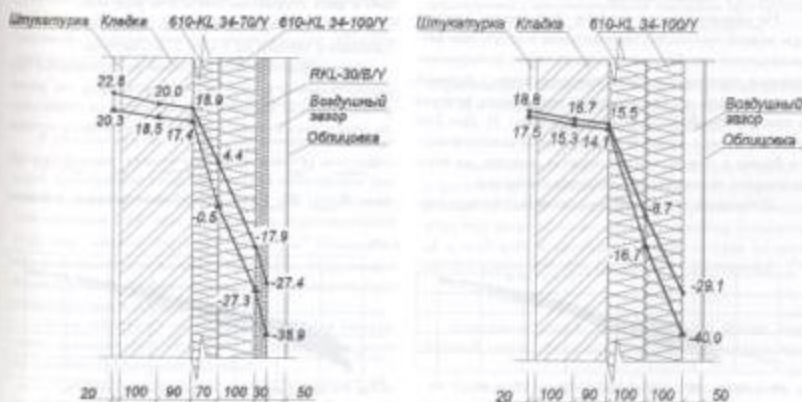


Рис. 2. Экспериментальные графики распределения температуры по толщине стенового ограждения на участках 1 (а) и 2 (б) при температуре наружного воздуха $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ и $-45 \text{ }^\circ\text{C}$.

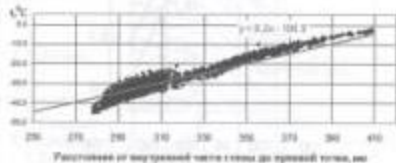
Температура на поверхности наружного слоя теплоизоляции на рассмотренных двух участках выше, чем температура воздуха в зазоре (рис. 2). Данная разница температуры в период особо низкой температуры наружного воздуха -40°C и ниже составила порядка $1,7-2,2^{\circ}\text{C}$. При этом установлено, что со снижением температуры наружного воздуха эта разница уменьшается. Например: на первом участке при температуре воздуха в зазоре $t_{\text{з}} = -29,4^{\circ}\text{C}$ температура на поверхности теплоизоляции наружного воздуха -40°C и ниже составила порядка $1,7-2,2^{\circ}\text{C}$. При этом установлено, что со снижением температуры наружного воздуха эта разница уменьшается. Например: на первом участке при температуре воздуха в зазоре $t_{\text{з}} = -29,4^{\circ}\text{C}$ температура на поверхности теплоизоляции наружного воздуха -40°C и ниже составила порядка $1,7-2,2^{\circ}\text{C}$. При этом установлено, что со снижением температуры наружного воздуха эта разница уменьшается. Например: на первом участке при температуре воздуха в зазоре $t_{\text{з}} = -29,4^{\circ}\text{C}$ температура на поверхности теплоизоляции наружного воздуха -40°C и ниже составила порядка $1,7-2,2^{\circ}\text{C}$.

Температура между теплоизоляционным слоем и кладкой на рассмотренных участках стеновой конструкции остается практически стабильной при изменении температуры наружного воздуха и соответственно на наружной поверхности теплоизоляции. Температура по толщине кладки (стены) изменяется незначительно в пределах $3,9^{\circ}\text{C}$ в наиболее холодные дни при температуре наружного воздуха -45°C .

В результате анализа данных натурального эксперимента установлено, что на 2-м участке с использованием стекловолоконных плит марки 610-KL 34-100/Y «Isover» без ветрозащитной мембраны температура во внутренних слоях ВФС имеет более низкие значения, чем на первом участке с кашированными плитками в качестве наружного слоя теплоизоляции (рис. 2). Разница температуры в месте прилегания теплоизоляции к кладке на 1-м и 2-м участках составила $1...3,4^{\circ}\text{C}$ в зимний период.

На незначительное влияние фильтрации воздуха при низкой плотности стекловолокна и отсутствии ветрозащитной мембраны указывают также экспериментальные зависимости расположения точки с нулевой температурой от температуры наружного воздуха в конструкции ВФС на 2-м участке (рис. 3). Для 2-го участка точки с нулевой температурой располагаются ближе к стене, чем на первом участке, на всем диапазоне температуры наружного воздуха.

Для оценки теплотехнических свойств стеновой кон-



Рисун 2. Экспериментальные точки расположения 0°C в толще стены на участках 1 (а) и 2 (б) в зависимости от температуры наружного воздуха

струкции, как правило, используется значение плотности теплового потока. В данном эксперименте измерены плотности теплового потока проводимые весной 2010 года при помощи прибора марки ИГТ-2М (ООО «Стройприбор», г. Челябинск). Согласно экспериментальным данным плотности теплового потока на всех участках увеличивается со снижением температуры наружного воздуха. Например: при температуре наружного воздуха $-16,9^{\circ}\text{C}$ плотность теплового потока на 1-м участке составила $6,21 \text{ Вт/м}^2$, на 2-м — $6,17 \text{ Вт/м}^2$; при температуре наружного воздуха $-8,8^{\circ}\text{C}$ плотность теплового потока на 1-м участке составляет $6,14 \text{ Вт/м}^2$, на 2-м — $6,08 \text{ Вт/м}^2$. Разница значений плотности теплового потока на 1-м и 2-м участках, где применены стекловолоконные плиты Isover разной плотности, небольшая в пределах $0,09 \text{ Вт/м}^2$.

Фактическое значение сопротивления теплопередаче ограждения в целом можно установить по экспериментальным данным температуры на поверхности конструкций с двух сторон и плотности теплового потока:

$$R_{\text{тепл}} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}) / q_1; R_{\text{тепл}} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}) / q_2 \quad (1)$$

где: $R_{\text{тепл}1}$, $R_{\text{тепл}2}$ — экспериментальные значения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции соответственно на 1-м и 2-м участках;

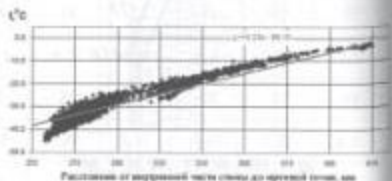
$t_{\text{вн}1}$, $t_{\text{вн}2}$, $t_{\text{вн}1}$, $t_{\text{вн}2}$ — экспериментальные значения температуры на поверхности ограждающей конструкции с двух сторон на 1-м и 2-м участках;

q_1 , q_2 — экспериментальные значения плотности теплового потока на 1-м и 2-м участках.

Также фактическое значение сопротивления теплоизоляционного слоя можно установить по экспериментальным данным температуры на поверхности слоя с двух сторон и плотности теплового потока:

$$R_{\text{тепл}} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}) / q_1; R_{\text{тепл}} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}) / q_2 \quad (1)$$

где: $R_{\text{тепл}1}$, $R_{\text{тепл}2}$ — экспериментальные значения



сопротивления теплопередаче теплоизоляционного слоя соответственно на 1-м и 2-м участках:

$t_{\text{вн}1}$, $t_{\text{вн}2}$ и $t_{\text{вн}1}$, $t_{\text{вн}2}$ — экспериментальные значения температуры на поверхности теплоизоляционного слоя на участках 1 и 2;

q_1 , q_2 — экспериментальные значения плотности теплового потока на 1-м и 2-м участках.

В результате выполненных расчетов согласно [1] и [2] по экспериментальным данным плотности теплового потока и температуры получены значения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с ВФС и теплоизоляционного слоя на отдельных участках. Полученные значения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции в целом и отдельной теплоизоляционной слоя на отдельных участках имеют некоторый разброс. Такой разброс можно объяснить тем, что выражение [1] и [2] для сопротивления теплопередаче получена для условий стационарного теплового потока. Во время проведения измерений плотности теплового потока температура наружного воздуха изменялась в первый день от $-8,8^{\circ}\text{C}$ до $-16,9^{\circ}\text{C}$ и во второй день от $-8,4^{\circ}\text{C}$ до $-14,6^{\circ}\text{C}$. Тем не менее, полученные результаты дают относительную картину теплотехнических свойств ограждающей конструкции при применении различных видов теплоизоляционных материалов.

Для определения влияния продольной фильтрации воздуха по аналогии с принятой в работе [1] методикой, принимая за эталон 1-й участок с наружным теплоизоляционным слоем из кашированных плит «Isover», определены экспериментальные значения коэффициента, учитывающего фильтрацию воздуха в теплоизоляционном слое:

$$R_{\text{тепл}} = R_{\text{тепл}1} / R_{\text{тепл}2}; R_{\text{тепл}} = R_{\text{тепл}1} / R_{\text{тепл}2} \quad (4,6)$$

В результате получены многочисленные экспериментальные значения коэффициента, учитывающего фильтрацию воздуха. Анализ полученных значений коэффициентов k , показал, что теплотехнические свойства ВФС при применении стекловолоконных плит низкой плотности 20 кг/м^3 снижаются незначительно, в пределах 5%, хотя на воздухопроницаемость по сравнению с плитой с кашированной поверхностью в 6 раз выше.

Таким образом, на основании анализа результатов проведенного натурального эксперимента можно сделать следующие выводы:

1. Скорость воздушного потока в зазоре между облицовкой и теплоизоляционным слоем в вентилируемых фасадных системах составляет не более 1 м/с .

2. Температура воздуха в зазоре ВФС снижается с увеличением высоты здания, а по значению выше температуры наружного воздуха. С повышением температуры наружного воздуха разница между ней и температурой в зазоре уменьшается.

3. В целом, полученные экспериментальные графики распределения температуры по толщине стены, графики расположения точки с нулевой температурой, фактические значения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с различной теплоизоляцией свидетельствуют о незначительном (в пределах 5%) влиянии продольной фильтрации воздуха на теплотехнические свойства ВФС зданий в реальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Продольная фильтрация воздуха в современных ограждающих конструкциях // В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, И.А. Мехникова // АВОК. — 2005. — №8. — С.60–69.

Экспериментальные исследования влияния воздушного потока в зазоре на теплотехнические свойства вентилируемых фасадных систем.

Приведены результаты измерений параметров воздушного потока в зазоре вентилируемой фасадной системы. В результате натурального эксперимента установлена степень влияния продольной фильтрации воздуха на теплотехнические свойства стенового ограждения с вентилируемым фасадом при использовании волокнистых плит низкой плотности.

Experimental researches of influence of an air stream in a backlash on heat-shielding properties of ventilated facade systems

by T.A. Kornilov, V.V. Ambrosev

Measurements results of air stream parameters in a backlash of ventilated facade system are shown. As a result of natural experiment a longitudinal filtration affecting level of an air on heat-shielding properties of a wall with a ventilated facade in case of using fibrous plates with low density was determined.

Ключевые слова: вентилируемый фасад, воздушный поток, фильтрация воздуха, эксперимент.

Keywords: a ventilated facade, an air stream, air filtration, experiment.