

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОПЕРЕНОСА В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПАНЕЛИ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМИ КАНАЛАМИ

М.И. Низовцев, В.Ю. Бородулин, В.Н. Летушко, А.Н. Стерлягов

Приведено описание экспериментальной установки и измерительного оборудования. Представлены результаты экспериментальных лабораторных исследований процесса влагопереноса в фасадной теплоизоляционной панели с вентиляруемыми каналами при различных тепло-влажностных условиях. Выполненные экспериментальные исследования процесса влагопереноса через теплоизоляционную панель с вентиляруемыми каналами показали, что при открытых каналах за счет перепада парциальных давлений водяного пара внутреннего воздуха и воздуха в каналах возникало течение, которое приводило к снижению влажности теплоизоляционного материала панели. В результате выполненных экспериментов получены распределения относительной влажности воздуха внутри панели и в вентиляруемых каналах при изменении скорости воздуха в них от 0 до 0,4 м/с. Показано, что увеличение скорости вентилярования приводило к снижению средней влажности воздуха в вентиляруемых каналах и росту интенсивности влагоудаления из теплоизоляционного слоя панели при неизменной влажности внутреннего и наружного воздуха. При скоростях воздуха более 0.1 м/с, которые соответствуют реальным скоростям воздуха в вентиляруемых каналах фасадной системы, наблюдалась значительная интенсификация удаления влаги из панели за счет снижения средней влажности воздуха в вентиляционных каналах.

Ключевые слова: фасадная система, теплоизоляционная панель, вентиляруемый канал, лабораторный эксперимент, датчики влажности и температуры, влагоперенос, относительная влажность воздуха, парциальное давление, воздушный поток, скорость воздуха.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при возведении новых и реконструкции существующих зданий активно применяются различные фасадные системы с использованием эффективных утеплителей. Одной из наиболее распространённых является система с вентиляруемым воздушным зазором (вентилируемый фасад). Система вентиляруемого фасада, как правило, включает слой утеплителя, для увеличения сопротивления теплопередаче наружных стен и уменьшения расхода тепла на отопление в холодный период года и вентиляруемый зазор, для поддержания утеплителя в относительно сухом состоянии, так как его теплотехнические характеристики в значительной степени определяются влажностным состоянием [1, 2].

При монтаже навесной системы вентиляруемого фасада на стене здания в первую очередь производится установка подсистемы, состоящей из направляющих и металлических элементов крепления, а затем на стене здания закрепляется слой теплоизоляционного материала. В результате большинству систем навесных вентиляруемых фасадов характерна существенная теплотехническая

неоднородность, обусловленная металлическими элементами, проходящими через теплоизоляционный слой [3, 4].

При установке систем вентиляруемого фасада на стене здания основные операции по монтажу выполняются на строительной площадке, что осложняет контроль качества монтажных работ, а также увеличивает время их выполнения.

Для повышения теплотехнической однородности фасадной системы и уменьшения количества операций на строительной площадке была разработана новая фасадная система утепления зданий [5]. Основу данной фасадной системы составляют теплоизоляционные панели с вентиляруемыми каналами. С наружной стороны панели расположена облицовка, представляющая собой тонкий слой металла с декоративным покрытием. Облицовка наклеивается на слой минерального утеплителя, который имеет продольные вентиляруемые каналы. В Институте теплотехники СО РАН была выполнена серия тепловых и влажностных расчетов для стен различных жилых зданий при утеплении их данной фасадной системой [6, 7]. Выполненные расчеты позволили определить оптимальные геометрические размеры вентиляруемых ка-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОПЕРЕНОСА В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПАНЕЛИ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМИ КАНАЛАМИ

налов, которые обеспечивают удаление влаги из утеплителя.

Численному исследованию газодинамики и тепло-влажностного режима вентиляруемых каналов посвящен ряд работ [8-11]. В тоже время, верификация предлагаемых расчетных методик требует надежных экспериментальных исследований, результаты таких работ практически не представлены в литературе. Таким образом, на данный момент весьма актуально проведение экспериментальных исследований тепло-влажностного режима в различных вентиляруемых фасадах. Данная работа является началом цикла экспериментальных исследований влагопереноса в новой фасадной системе утепления зданий на основе панелей с вентиляруемыми каналами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проведения исследований тепло-влажностного режима панелей с вентиляруемыми каналами была собрана экспериментальная установка. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

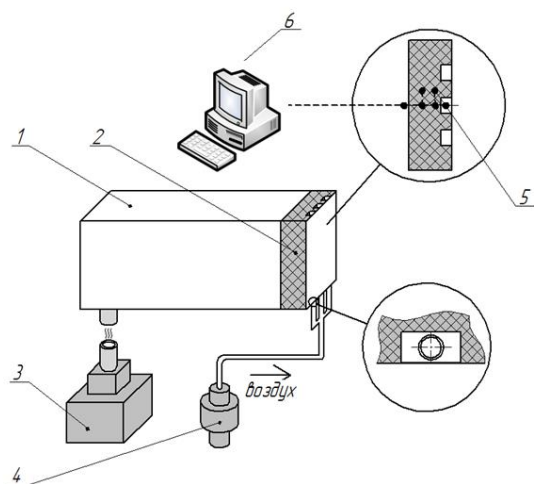


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки: 1 - влажностная камера, 2 - панель с каналами, 3 - ультразвуковой увлажнитель, 4 - воздушный насос, 5 - датчики, 6 - персональный компьютер

Экспериментальная установка состоит из влажностной камеры, одна боковая сторона которой открыта. К открытой стороне камеры сбоку герметично закреплена теплоизоляционная панель, так, что поверхность утеплителя направлена внутрь камеры, а вентиляруемые каналы располагаются вер-

тикально. Общая толщина слоя минераловатного утеплителя плотностью 90 кг/м^3 в исследуемой фасадной панели составляла 80 мм. При этом располагаемые с наружной стороны за тонким металлическим слоем вентиляруемые каналы имели поперечное сечение $20 \times 40 \text{ мм}$, и расстоянием между каналами составляло 65 мм. Общая ширина теплоизоляционной фасадной панели была 335 мм, а высота $h = 1000 \text{ мм}$.

Во влажностной камере с помощью ультразвукового увлажнителя поддерживались заданная температура и влажность воздуха. Во время эксперимента воздух, поступающий от насоса, подводился к вентиляруемым каналам панели снизу. Таким образом, в каналах панели формировался воздушный поток. При этом имелась возможность регулировки расхода воздуха и соответственно изменения скорости движения воздуха в каналах в диапазоне от 0 до 0,4 м/с.

Внутри слоя минераловатного утеплителя панели, во влажностной камере и в вентиляруемом канале были установлены датчики автономного регистратора температуры и относительной влажности Eclerk-USB-RHT-1. Датчики позволяли измерять температуру с абсолютной погрешностью $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительную влажность с погрешностью $\pm 2,0 \%$. Вся информация с датчиков поступала на персональный компьютер. Схема расположения датчиков приведена на рис. 2.

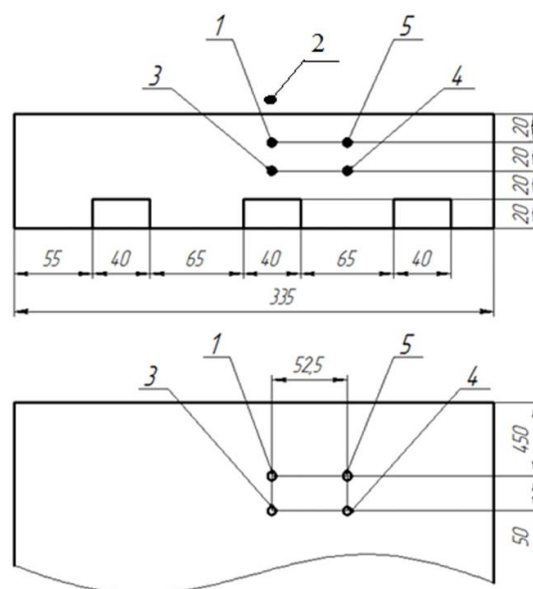


Рисунок 2 - Схема расположения датчиков

Датчики №1, №3, №4, №5 располагались в минераловатном утеплителе панели. Датчик №2 находился во влажностной камере на расстоянии 5 мм от теплоизоляции панели на высоте 480 мм. Датчик №6 перемещался по высоте центрального вентиляруемого канала. Схема положений датчика №6, в которых проводились измерения, представлена на рис.3.

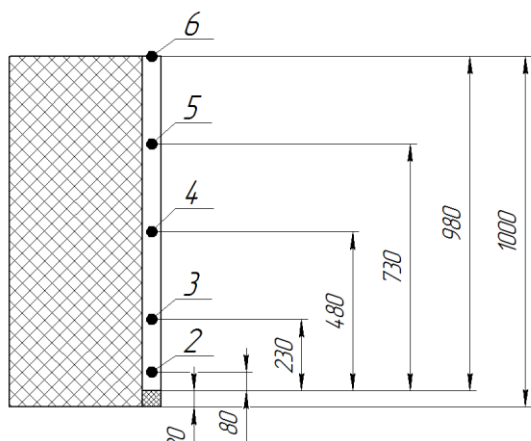


Рисунок 3 - Схема положений датчика №6

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На созданной установке было проведено две серии экспериментов исследования тепло-влажностного режима панели с вентиляруемыми каналами. Во всех экспериментах температура воздуха во влажностной камере, внутри панели и воздушных каналах была одинакова и составляла 30°C.

В первой серии экспериментов выяснялось влияние открытия воздушных каналов на влагоперенос через панель. Результаты измерений относительной влажности приведены на рис. 4 и рис.5.

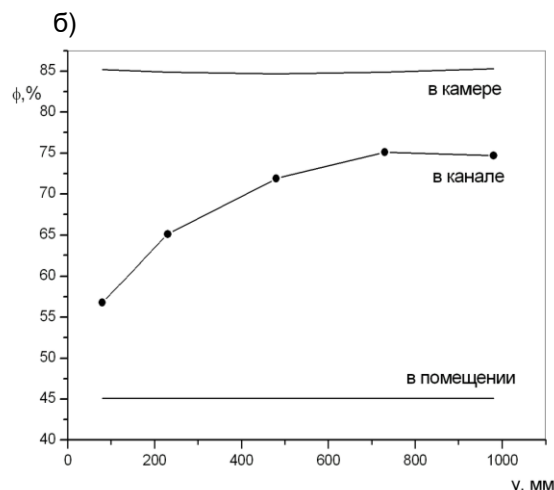
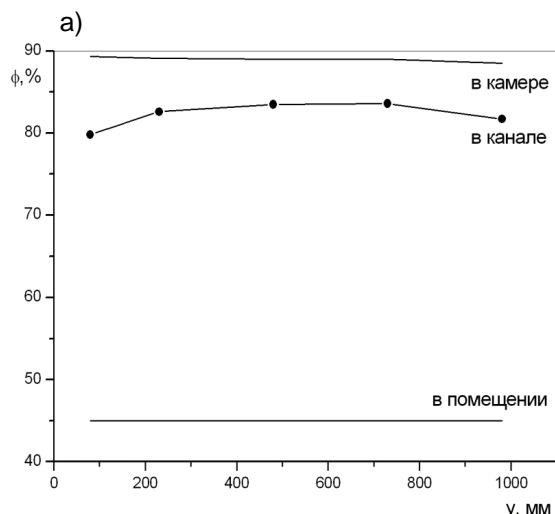


Рисунок 4 - Изменение относительной влажности по высоте воздушного канала: а) при закрытых воздушных каналах, б) при открытых воздушных каналах

Воздушные каналы всегда были открыты сверху, а снизу открыты или закрыты. При закрытых снизу каналах влажность воздуха в камере была 89%, в помещении – 45%. Относительная влажность воздуха в воздушном канале слабо изменялась по высоте канала, и в среднем составляла 82% (рис. 4.а). Канал практически не вентилировался. При открытии воздушных каналов наблюдалось падение относительной влажности воздуха в камере до 85% при неизменной производительности увлажнителя и общее снижение относительной влажности внутри канала с перераспределением по высоте от 57% внизу до 75% вверху (рис.4.б). Такое распределение относительной влажности в канале свидетельствовало о возникновении в канале течения в направлении снизу вверх.

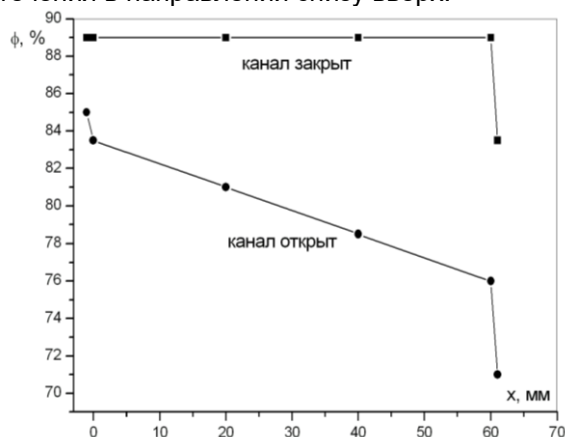


Рисунок 5 - Изменение относительной влажности воздуха в поперечном сечении панели $u/h = 0.5$ (по линии 2 рис.6) при открытии каналов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОПЕРЕНОСА В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ПАНЕЛИ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМИ КАНАЛАМИ

Возникновение течения в канале приводило к изменению распределения относительной влажности в поперечном сечении панели при открытии каналов (рис.5).

При закрытых снизу воздушных каналах относительная влажность воздуха в камере и по толщине панели была одинакова, лишь незначительно падала в воздушном канале. При открытых воздушных каналах в поперечном сечении панели наблюдалось падение относительной влажности в направлении от камеры к воздушному каналу, что также свидетельствовало о наличии потока в воздушном канале снизу-вверх.

Во второй серии экспериментов исследовалось влияние скорости воздуха в воздушных каналах на изменение влажности, как в воздушных каналах, так и в панели. На рис.6. показано изменение распределения относительной влажности в горизонтальном сечении панели на высоте $y/h = 0.5$ вдоль линии 1 (центральная линия между воздушными каналами) и вдоль линии 2 (по центру воздушного канала) при скорости воздуха в каналах 0,2 м/с.

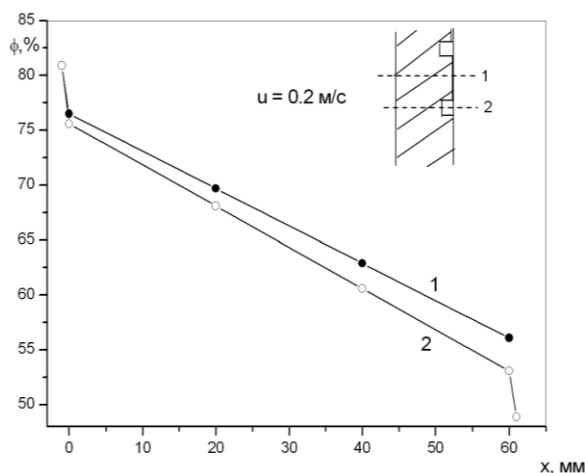


Рисунок 6 - Изменение распределения относительной влажности в горизонтальном сечении панели на высоте $y/h = 0.5$ вдоль линий 1 и 2

Согласно результатам экспериментов, наблюдалось снижение относительной влажности по толщине панели от камеры к воздушному каналу, при этом напротив каналов снижение было большим, чем между ними.

С увеличением скорости воздуха в воздушных каналах в экспериментах рос перепад относительной влажности по толщине панели (рис.7), что свидетельствовало об интенсификации влагопереноса.

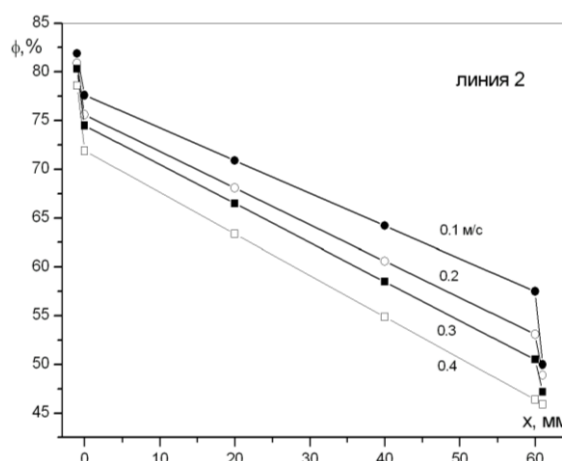


Рисунок 7 - Влияние скорости воздуха в воздушных каналах на изменение относительной влажности в поперечном сечении при $y/h = 0.5$ вдоль линии 2

При увеличении скорости воздуха в воздушных каналах его влажность на выходе из каналов снижалась (рис.8), в результате средняя влажность воздуха в каналах была ниже, это обеспечивало и снижение влажности внутри панели.

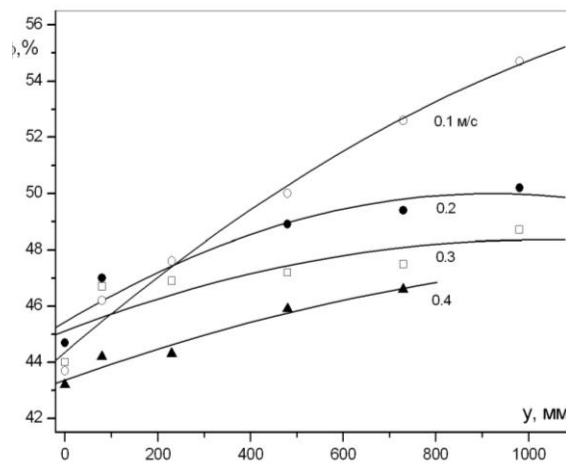


Рисунок 8 - Изменение влажности воздуха по высоте канала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные экспериментальные исследования влагопереноса через теплоизоляционную панель с вентилируемыми каналами показали, что при открытых каналах за счет перепада парциальных давлений водяного пара внутреннего воздуха и воздуха в каналах возникало течение, которое приводило к снижению влажности теплоизоляционного материала панели.

При скоростях воздуха более 0.1 м/с, которые соответствуют реальным скоростям воздуха в вентилируемых каналах фасадной системы, наблюдалась значительная интенсификация удаления влаги из панели за счет снижения средней влажности воздуха в вентиляционных каналах. С ростом скорости воздуха в каналах от 0 м/с до 0,4 м/с происходило снижение влажности в утеплителе панелей при практически неизменной влажности внутреннего и наружного воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-48-700367 р_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. М.: «Высшая школа», - 1982. - 415 с.
2. Куприянов В.Н. Основные принципы конструирования наружных стен с ограничением конденсации в них парообразной влаги // Строительные материалы и технологии. - 2015. - №2(58). - С.120-127.
3. Гагарин В.Г. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, Е.Ю. Цыкановский // АВОК. - 2004. - №3. - С. 20–26.
4. Машенков А.Н. Определение коэффициента теплотехнической однородности навесных фасадных систем с воздушным зазором / А.Н. Машенков, Е.В. Чебурканова // Строительные материалы. - 2007. - №6. - С. 10–12.
5. Патент на полезную модель РФ № 94597 Стеновая панель для облицовки и утепления строительных сооружений / Белый В.Т.; заявитель и патентообладатель - заявл. № 2009148471 от 28.12.2009; опубл. 27.05.2010.
6. Низовцев М.И. Новая теплоизоляционная фасадная система зданий на основе панелей с вентилируемыми каналами / Низовцев М.И., Белый В.Т., Стерлягов А.Н. // Известия Вузов. Строительство. - 2015. - №10. - С. 25-32.

7. Nizovtsev M.I. The facade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings / M.I. Nizovtsev, V.T. Belyi, A.N. Sterlygov // Energy and Buildings. – 2014. – №75, – P 60-69.

8. Sparrow E.M. Azevedo L.F.A. Vertical channel natural convection spanning between fully-developed limit and the single-plate boundary-layer limit // Int. Journal Heat Mass Transfer. 1985. Vol. 28. Issue 10. P. 1847–1857.

9. Suarez C. et al. Heat transfer and mass flow correlations for ventilated facades // Energy and Buildings Vol. 43. 2011. P. 3696–3703.

10. Lau G.E., Yeoh G.H., Timchenko V., Reizes J.A. Numerical investigation of passive cooling in open vertical channels // Applied Thermal Engineering. 2012. Vol.39. P. 121-131.

11. Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. The Energy-Efficient Heat Insulation Thickness for Systems of Hinged Ventilated Facades // Advanced Materials Research. 2014. No. 941–944. P. 905–920.

Низовцев Михаил Иванович, доктор технических наук, зав. лаборатории проблем энергосбережения Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Tel: +7(383) 316-53-36, e-mail: nizovtsev@itp.nsc.ru

Бородулин Владимир Юрьевич, ведущий инженер Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Tel: +7(383) 316-53-36, e-mail: v_u_b@mail.ru

Летушко Владимир Николаевич, ведущий инженер Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Tel: +7(383) 316-53-36, e-mail: lvn321@yandex.ru

Стерлягов Алексей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Tel: +7(383) 316-53-36, e-mail: sterlyagov@itp.nsc.ru