

УДК 69.059.4

*А.И. ИВАНЦОВ, инженер-архитектор (lesha_25@mail.ru),
В.Н. КУПРИЯНОВ, д-р. техн. наук, член-корр. РААСН,
И.Ш. САФИН, инженер-строитель (zavlab17@rambler.ru),
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)*

Натурные исследования эксплуатационных воздействий на фасадные системы с различными видами эффективных утеплителей

Приведены результаты натурных исследований эксплуатационных воздействий на материалы трех фасадных систем с тонким штукатурным слоем. Разработаны методы расчета эксплуатационного тепловлажностного состояния материалов наружного утепления и облицовочных слоев, основанных на взаимодействии климатических факторов и свойств ограждающих конструкций.

Ключевые слова: натурные исследования, эксплуатационные воздействия, тепловлажностное состояние, метод.

В соответствии с «Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений» информация о долговечности ограждающих конструкций должна быть представлена в проектной документации. В нормативных документах подобная информация отсутствует. Одной из причин этого является отсутствие научнообоснованных методов оценки срока службы материалов фасадных систем, что, в свою очередь, сдерживается отсутствием обоснованных данных об эксплуатационных воздействиях на материалы ограждающих конструкций.

В настоящей работе представлены результаты натурных исследований эксплуатационных воздействий на материалы фасадных систем с тонким штукатурным слоем. Разработаны методы расчета эксплуатационной температуры и влажности материалов наружного утепления и облицовочных слоев, которые основаны на взаимодействии климатических факторов и свойств ограждающих конструкций.

Методика исследований

Для исследования тепловлажностного состояния фасадных систем с тонким штукатурным слоем в натурных условиях на кафедре проектирования зданий КазГАСУ был изготовлен натуральный испытательный стенд (рис. 1), представляющий собой простенок существующего здания, утепленный по системе «мокрый фасад» с использованием трех видов эффективного утеплителя: пенополисти-

рола (2а), минеральной ваты (2б) и газобетона (2в). Характеристики материалов приведены в таблице.

Распределение температуры по толщине ограждающей конструкции фиксируется восьмиканальным устройством измерения температуры ОВЕН УКТ38-Щ4 (6) с применением датчиков – термопреобразователей сопротивления ДТС типа ТСР (9) с погрешностью измерений не более 0,1°C. Измерения проводятся непрерывно с интервалом 10 мин и накапливаются в базе данных.

Влажность материалов в толще конструкции определяется игольчатым контактным влагомером GANN COMPACT A (5) посредством датчиков (8), представляющих собой отнесенные на необходимое расстояние игольчатые электроды, внедряемые в изучаемый слой материала. Влажность определяется периодически с интервалом 3 ч.

Внешнее воздействие климата: температура и относительная влажность наружного воздуха фиксируется прибором ИВТМ-7, суммарная солнечная радиация определяется универсальным пиранометром М-80М в автоматическом режиме.

Анализ результатов исследований

Основные результаты натурных исследований представляются в виде графиков распределения температуры и влажности по толщине ограждения в течение суток. На рис. 2 приведен пример распределения температуры и влажности, полученный 23.02.2013 г.

№ слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)	Коэффициент теплоусвоения S_{24} , Вт/(м ² ·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
1	Штукатурка Ceresit СТ190	0,008	1350	0,87	8,48	0,098
2а	Пенополистирол	0,15	8,6	0,039	0,32	0,02
2б	Минеральная вата	0,15	95,8	0,035	0,74	0,32
2в	Газобетон	0,15	422	0,143	2,42	0,23
3	Кирпичная кладка	0,64	1500	0,87	10,9	0,11

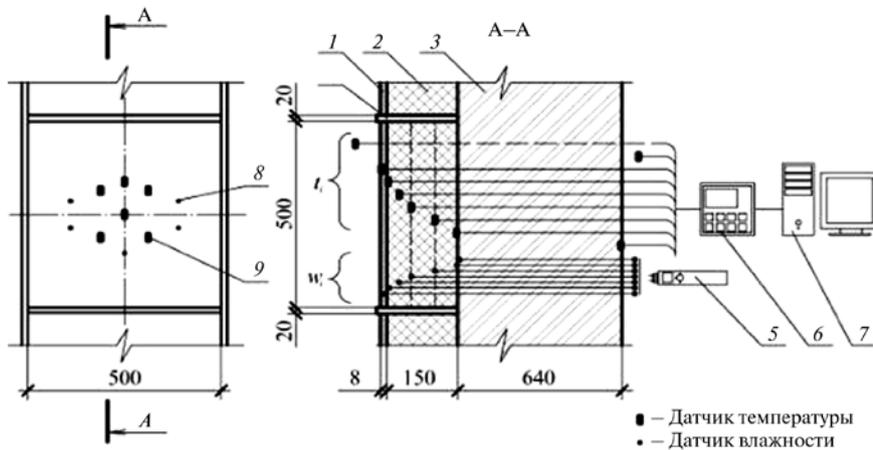


Рис. 1. Схема испытательного натурального стенда (фрагмент – для одного вида утеплителя): 1 – облицовочный штукатурный слой; 2 – эффективный утеплитель; 3 – кирпичный проронок; 4 – экструдированный пенополистирол; 5 – контактный влагомер игольчатого типа GANN COMPACT A; 6 – восьмиканальное устройство измерения температуры ОВЕН УКТ38-Щ4; 7 – компьютер; 8 – датчик влажности материала; 9 – датчик – термпреобразователь сопротивления ДТС

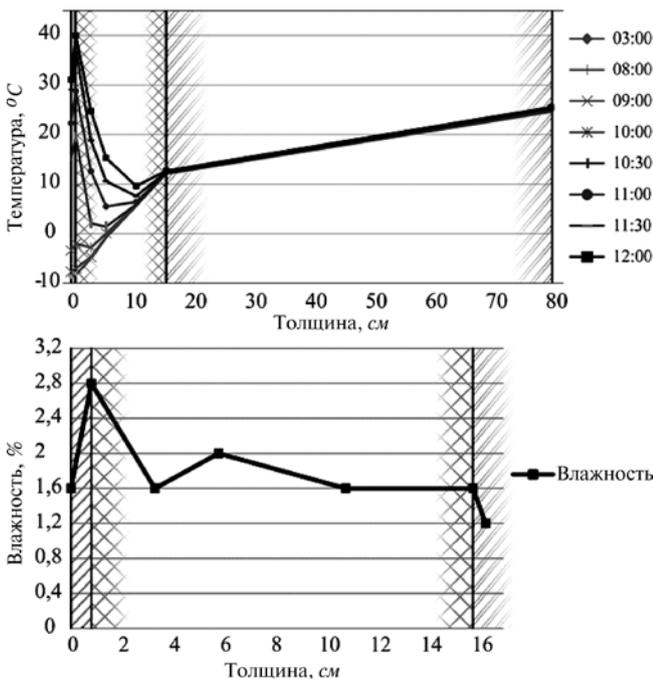


Рис. 2. Распределение температуры и влажности по толщине ограждения в течение суток (23.02.13) для фрагмента с газобетоном

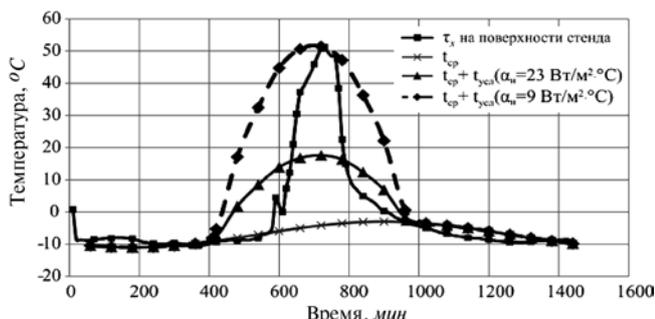


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений температуры наружной поверхности стенда

Для моделирования нестационарных температурных полей на основании полученных графиков были использованы предпосылки теории теплоустойчивости, описанные в классических работах О.Е. Власова и А.М. Шкловера. Согласно данной теории температурные поля в ограждении выстраиваются в соответствии с колебаниями температуры наружного воздуха и показателями затухания и запаздывания колебаний, определяемыми свойствами и взаимным расположением материалов в ограждении.

Колебания температуры наружного воздуха с определенными допущениями рассматриваются как гармонические колебания. При этом температура наружного воздуха t_n изменяется около среднесуточного значения t_{cp} с периодом $T=24$ ч так, что в любой момент

времени z (ч) ее величина равна:

$$t_n = t_{cp} + A_n \cos \frac{2\pi}{T} Z, \quad (1)$$

где A_n – среднее значение среднесуточной амплитуды наружного воздуха, °С.

Влияние солнечной радиации, вызывающей повышение температуры наружной поверхности, учитывается повышением температуры наружного воздуха на условную эквивалентную добавку $t_{ysl} = \frac{pq_z}{\alpha_n}$:

$$t_n = t_{cp,m} + A_n \cos \frac{2\pi}{T} Z + \frac{pq_z}{\alpha_n}, \quad (2)$$

где p – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности; α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, Вт/(м²·°С); q_z – интенсивность суммарной солнечной радиации в момент времени z на вертикальную поверхность соответствующей ориентации, Вт/м².

Для максимального приближения результатов расчета к реальным эксплуатационным условиям и достижения фактической температуры поверхности интенсивность солнечной радиации принимается по негармоническому графику в каждый час суток.

На рис. 3 приведены графики сравнения температуры, вычисленной по (1) и (2), и экспериментальных данных по температуре поверхности в ясный солнечный день. Как можно видеть, наиболее приближенного к реальным значениям результата удается достичь при значении $\alpha_n=9-10$ Вт/(м²·°С) при нормативном в 23 Вт/(м²·°С) с учетом поступления солнечной радиации на экспериментальный стенд с 10 до 12 ч при расчетном периоде с 7 до 16 ч.

Изменение температуры наружного воздуха и поверхности ограждения вызывает изменение температуры в толще стены. В произвольном сечении x температура должна описываться уравнением:

$$t_x = t_{x0} + \frac{A_{t_n}}{v_x} \cos \frac{2\pi}{T} (Z - \varepsilon_x) + \frac{pq_z}{v_x \alpha_n}, \quad (3)$$

где t_{x0} – среднее за период значение температуры в сечении x (определяется по формулам стационарной теплопередачи); v_x – показатель затухания колебаний в сечении x ;

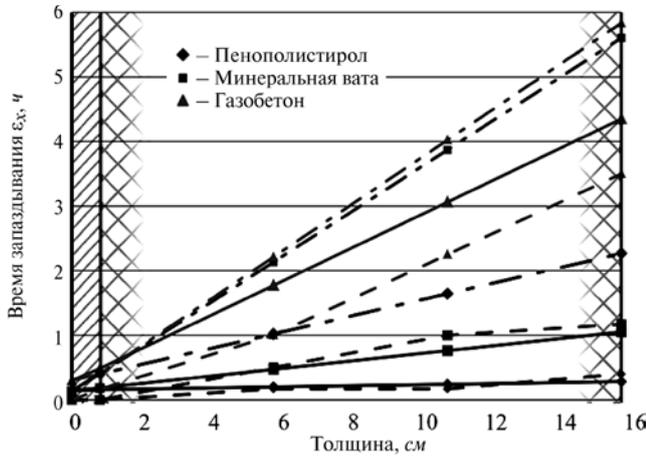


Рис. 4. Показатель запаздывания температурной волны по толщине утеплителя

ε_x – показатель запаздывания сквозного проникновения колебаний, приблизительно принимается при $T=24$ ч.

В инженерных расчетах для определения ν_x и ε_x используются приближенные формулы, предложенные В.Н. Богословским:

$$\nu_x = e^{\frac{R_x S_x}{\sqrt{2}}} \frac{S_x + Y_{x+1}}{S_x + Y_x}, \quad (4)$$

где R_x и S_x – сопротивление теплопередаче слоя и коэффициент теплоусвоения материала этого слоя; Y_x и Y_{x+1} – коэффициенты теплоусвоения поверхностей слоев n и $n+1$ со стороны движения волны.

$$\varepsilon_x \approx 2,7 D_x - 0,4 = 2,7 R_x S_x - 0,4. \quad (5)$$

На рис. 4 представлен график экспериментальных значений распределения показателя запаздывания температурной волны ε_x по толщине трех видов утеплителя (сплошные линии). Здесь же нанесены расчетные величины запаздывания ε_x , вычисленные по формуле (5) (штрихпунктирные линии). Как можно видеть, реальное запаздывание колебаний оказалось значительно меньше расчетного. Экспериментальные данные показывают, что запаздывание сквозного проникновения колебаний ε_x в большей степени зависит от коэффициента теплоусвоения материала ограждения и в данном случае приблизительно может быть описано следующей предлагаемой зависимостью:

$$\varepsilon_x \approx R_x \cdot S_x^2 - 0,4. \quad (6)$$

На рис. 4 эти зависимости показаны штриховыми линиями.

Распределение температуры по толщине ограждения в течение суток позволяет перейти к распределению максимальной упругости водяного пара, определяющего зону конденсации по разности с действительной упругостью.

Предпосылки расчета влажностного режима

В расчетах по широко используемому методу Фокина–Власова действительная упругость водяного пара определяется исходя из справочных значений φ_n , %, по формуле: $e_n^p = \varphi_n \cdot E_n / 100$, где E_n – максимальная упругость водяного пара, Па, которая, в свою очередь, определяется по справочным таблицам по величине t_n . Значение e_n из климатических справочников авторы классического метода не используют. В то время как представленные на рис. 5 зави-

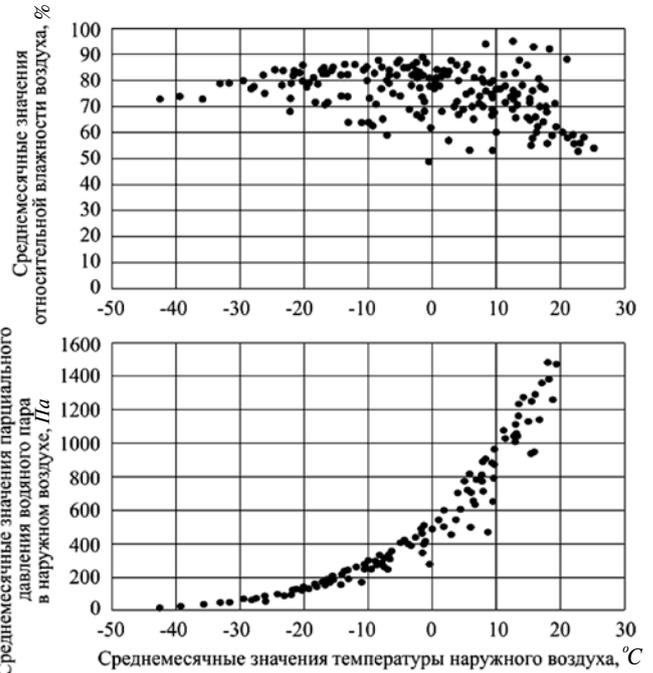


Рис. 5. Зависимость средних значений относительной влажности воздуха и парциального давления водяных паров от средних значений температуры наружного воздуха

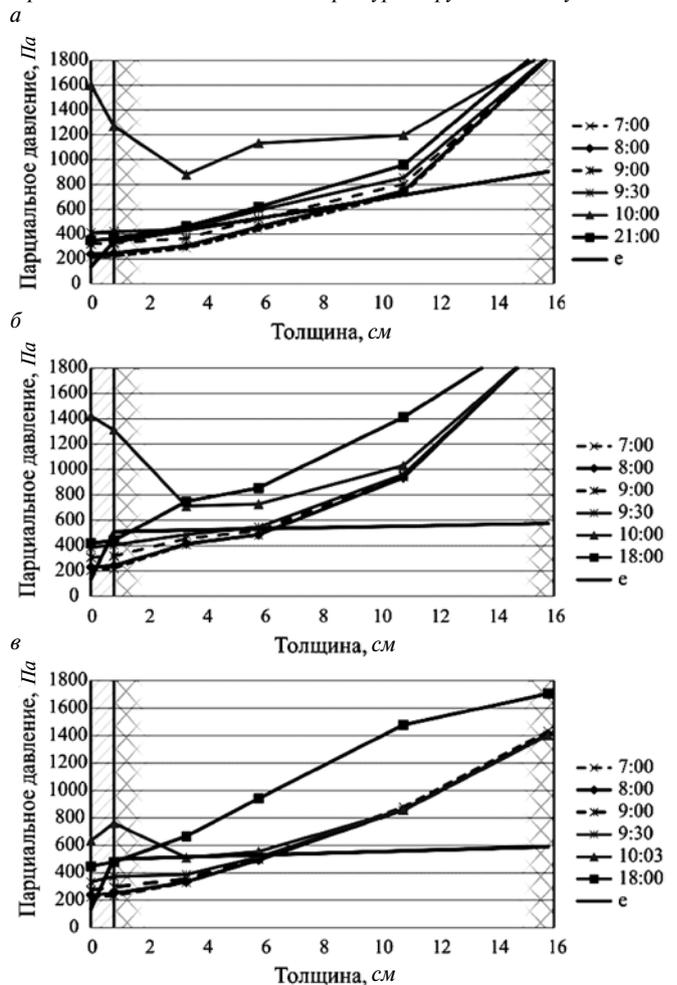


Рис. 6. Схема возникновения возможной зоны конденсации в толще утеплителя при суточных колебаниях температуры в слоях ограждения (на 12.03.13): а – пенополистирол; б – минеральная вата; в – газобетон

симости среднемесячных значений относительной влажности воздуха φ_n и парциального давления водяных паров e_n от среднемесячных значений температуры наружного воздуха t_n , полученные из СНиП 2.01.01–82 и СНиП 23-01–99* и обобщенные по 30 городам, расположенным в различных зонах влажности, демонстрируют меньший разброс значений e_n относительно φ_n , особенно в зимний период. То есть применение в расчетах справочных значений e_n обеспечит повышение точности расчетов.

К тому же известно, что процесс диффузии водяного пара в ограждающих конструкциях очень инерционный: стационарный режим паропропускания устанавливается через несколько недель. В реальных эксплуатационных условиях разность ($e_v - e_n$) от месяца к месяцу изменяется постепенно и незначительно (для Москвы $e_n - 280$ Па в январе и 290 Па в феврале). Т. е. e_n изменяется на 10 Па в течение месяца, что позволяет считать e_n практически постоянной величиной в наиболее холодный период года.

Принимая в расчет данную предпосылку, процесс конденсации парообразной влаги в ограждении при суточных колебаниях температуры наружного воздуха можно представить следующей схемой.

На рис. 6 представлены схемы образования возможной зоны конденсации в течение суток, построенные на основании вышеизложенного метода с использованием экспериментальных данных по температурным полям в толще стены.

Анализ графиков показывает, что в течение суток зона конденсации парообразной влаги (превышение действительной упругости водяного пара e над максимальной E) изменяется в зависимости от вида материалов. Зона возможной конденсации образуется в толще пенополистирола в вечернее время в 21.00 и заканчивается в 9.30 утра, захватывая до 2/3 его толщины. В минеральной вате и газобетоне зона конденсации начинает образовываться с внешней поверхности утеплителя в 18.00 и продвигается вглубь до 1/3 толщины утеплителя вплоть до 10 часов утра. То есть при одинаковых наружных условиях наиболее протяженная зона конденсации образуется в пенополистироле, в то время как в газобетоне и минеральной вате конденсация происходит интенсивнее, учитывая максимальную величину разности ($e - E$).

Конденсация в различных материалах прекращается с повышением температуры в слоях за счет прогревания материалов вследствие действия солнечной радиации в зависимости от показателей затухания и запаздывания прохождения тепловых колебаний.

Проведенными исследованиями уточнена методика расчета температурно-влажностного состояния наружных слоев в зависимости от параметров климата и свойств ограждающих конструкций, что позволяет получить количественные характеристики условий эксплуатации наружных слоев материалов и перейти к разработке методов оценки срока службы материалов этих слоев.



ФОРУМ ХХІІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ

МАЛОЭТАЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

24–27 сентября **УФА–2013**

БВК БАШКИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

тел.: (347) 253 14 33, 253 38 00, 241 74 19
e-mail: stroy@bvkepo.ru, www.bvkepo.ru

www.stroybvk.ru