

Глушко К. К., Глушко К. А.

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО И ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУШНЫХ ПРОСЛОЕК

*Брестский государственный технический университет. Глушко К. К. – к. т. н., доцент кафедры архитектуры; Глушко К. А. – к. т. н., доцент, доцент кафедры природообустройства.*

### Введение

Задача поддержания заданного теплового режима помещений здания в основном выполняется системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. При этом эффективная работа этих систем невозможна без учета влияния тепло-влажностных и теплоинерционных свойств ограждений. Введенные в действие строительные нормы [1–4] направлены на решение указанной задачи и содержат в себе инженерные расчеты и наиболее полный перечень значений теплофизических характеристик строительных и материалов.

Ограждающие конструкции зданий часто выполняют многослойными для повышения их теплозащитных качеств. При этом отдельные слои могут выполнять как специфические функции, так и совмещать несколько функций. Изменение конструкций стен, переход от массивных однослойных к более лёгким многослойным требует решения вопросов их конденсационного увлажнения. Чрезмерное увлажнение строительных материалов, из которых выполнены ограждающие конструкции, приводит к увеличению их теплопроводности, для невлагостойких материалов – к снижению прочности, а при замерзании сконденсированной влаги в их порах – к разрушению. Применяемые технические решения должны предусматривать выполнение требуемого влажностного режима материалов и сохранение их теплозащитных характеристик.

### Основная часть

Для определения влажности ограждающей конструкции следует изначально определить величины температур в ее слоях, поскольку величина максимального парциального давления водяных паров является функцией температуры. Для построения температурного поля в ограждающей конструкции следует воспользоваться дифференциальным уравнением Лапласа для стационарной теплопередачи:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) = 0, \quad (1)$$

где  $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  – теплопроводности материала по направлениям X, Y, Z соответственно, Вт/(мС).

Для одномерного температурного поля запись (1) можно представить в следующем виде:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0, \quad (2)$$

применив метод конечных разностей [5–9], она примет вид

$$\frac{\Delta^2 t}{h^2} = 0 \Rightarrow \Delta^2 t = t_{i-1} - 2t_i + t_{i+1} = 0, \quad (3)$$

где  $i$  – порядковый номер точки, в которой решается уравнение (1).

Полученное выражение можно применить для каждого слоя, имеющего свои значения теплопроводности и толщины, в отдельности, а на границах слоев использовать закон Фурье, чтобы уравнивать величины плотностей теплового потока, передающегося от рассматриваемого слоя к смежному:

$$q = \lambda_{j-1} \frac{t_{i-1} - t_i}{h_{j-1}}; \quad q = \lambda_j \frac{t_i - t_{i+1}}{h_j} \quad t_{i-1} - 2t_i + t_{i+1} = \frac{q}{n} \left( \frac{\delta_{j-1}}{\lambda_{j-1}} - \frac{\delta_j}{\lambda_j} \right) \quad \text{откуда} \quad (4)$$

Слои разделены на равное количество промежуточных слоев, при этом толщины их неодинаковы в разноименных слоях. При решении данной задачи принято, что температуры внутренней и наружной поверхностей слоев вычислены при помощи следующих зависимостей:

$$t_0 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_T \cdot \alpha_e}, \quad t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_T} \left( \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right), \quad (5)$$

где  $t_e$ ,  $t_n$  – расчетные температуры внутреннего и наружного воздуха, °C,  $R_T$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>°C/Вт,  $\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности, Вт/м<sup>2</sup>С.

За неизвестные величины приняты температуры в точках с номерами от 1 до n-1, известные – начальная и конечная. Используя записи (3) и (4), можно составить систему линейных неоднородных уравнений относительно температур во внутренних точках, матричная запись которой будет иметь вид

$$[\Lambda] \cdot [t] = [S], \quad \text{а решение} \quad [t] = [\Lambda]^{-1} \cdot [S], \quad (6)$$

где  $[\Lambda]$  – матрица из коэффициентов при величинах определяемых температур,  $[t]$  – вектор неизвестных температур,  $[S]$  – вектор свободных коэффициентов.

Величины парциальных давлений водяного пара, проникающего через ограждающую конструкцию, можно определить по формуле

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{II}} \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (7)$$

где  $e_e$  – парциальное давление внутреннего воздуха:

$$e_e = 0,01 \cdot \varphi_e E_e, \quad (8)$$

$\varphi_e$  – относительная влажность внутреннего воздуха, %;  $E_e$  – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па;  $e_n$  – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, определяют по формуле

$$e_n = 0,01 \cdot \varphi_n E_n, \quad (9)$$

$\varphi_n$  – средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период, %;  $E_n$  – максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па;  $R_{II}$  – сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·ч·Па/мг.

Величину максимального парциального давления  $E$  можно найти, используя табличные данные [1] путем интерполяции либо в виде значения функции, аппроксимирующей нормативные значения парциальных давлений:

$$E(t) = -2 \cdot 10^{-7} \cdot t^6 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot t^5 + 0,0006 \cdot t^4 + 0,0213 \cdot t^3 + 1,3463 \cdot t^2 + 46,245 \cdot t + 604,71. \quad (10)$$

Влажность в расчетных точках слоев ограждающей конструкции может быть найдена по формуле

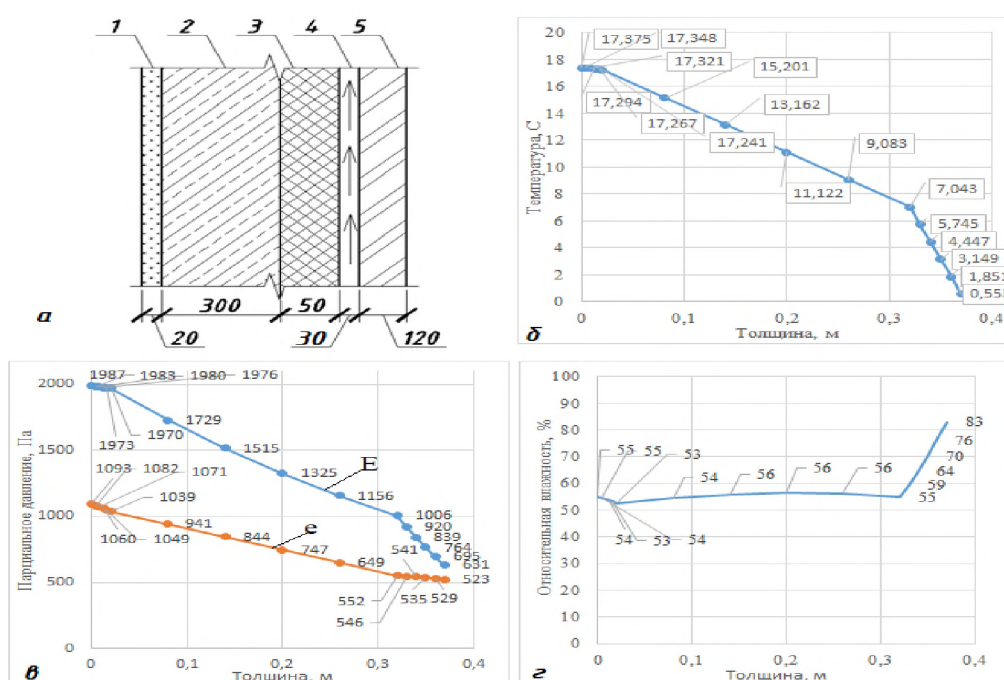
$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Среднее значение влажности промежуточного слоя может быть найдено как полусумма величин влажности в соседних точках. Полученное значение средней влажности промежуточного слоя в дальнейшем используется для классификации его режима эксплуатации (А или Б по [1]).

В качестве примера приведен расчет наружной стены состава, указанного на рисунке 2а, результаты расчета приведены на рисунках 2б–2г. Данный состав стены подобран по рекомендациям [4]. В таблицу 1 сведены основные параметры материалов наружной стены. Каждый слой разделен на пять равных участков.

Таблица 1. Параметры материалов наружной стены

| № п/п | Наименование материала            | Плотность, кг/м <sup>3</sup> | Толщина, мм | Теплопроводность, Вт/мС | Паропроницаемость, мг/мчПа |
|-------|-----------------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------|----------------------------|
| 1     | Известково-песчаная штукатурка    | 1600                         | 20          | 0,81                    | 0,12                       |
| 2     | Блок ячеистобетонный              | 500                          | 300         | 0,17                    | 0,2                        |
| 3     | Плиты минераловатные              | 75                           | 50          | 0,0419                  | 0,57                       |
| 4     | Вентилируемая воздушная прослойка | —                            | 50          | -                       | -                          |
| 5     | Кирпич силикатный утолщенный      | 1600                         | 120         | 1,28                    | 0,12                       |



а – конструкция наружной стены, б – график распределения температуры, в – график распределения парциальных давлений: при заданных влажностях наружного и внутреннего воздуха (е), максимального (Е), г – график распределения относительных влажностей; 1–5 – слои стены согласно таблице 1

Рисунок 1 – Конструкция наружной стены

Конструкция наружной стены, приведенная выше, составлена с соблюдением следующих условий [4]: при удалении от внутренней поверхности к наружной каждый последующий слой имеет большее сопротивление теплопередаче и большую паропроницаемость.

В том случае, если сопротивление теплопередаче или паропроницаемость последующего слоя будет меньше, чем у предыдущего, между ними необходимо устроить вентилируемую воздушную прослойку, для соблюдения названных условий. Как видно из графика, изображенного на рисунке 2г, накопление влаги происходит, главным образом, на наружном слое утеплителя.

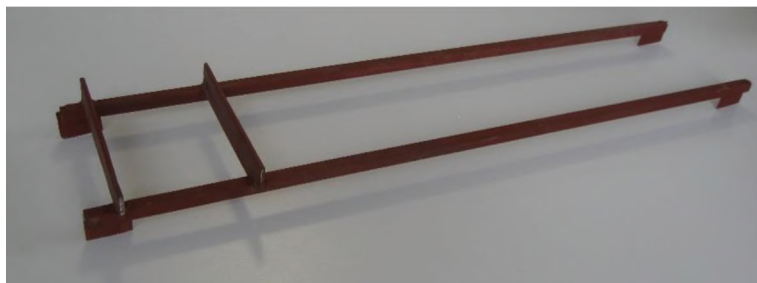


Рисунок 2 – Устройство для формирования швов каменной кладки

Влажность в этом месте в случае неблагоприятных условий может достигать 100 %. Требуется, чтобы избыточная влажность должна удаляться из слоев стены за теплый период года, в противном случае будет иметь происходить увеличение влажности, что недопустимо, и решение вопроса об улучшении вентиляции прослойки является актуальным.

В нормах [4] приведены минимальные толщины вентилируемых воздушных прослоек в зависимости от высоты здания. При этом следует отметить, что не отмечается влияние шероховатости внутренней поверхности лицевой кладки на возможность движения воздуха в воздушной прослойке. Предполагается, что внутренняя поверхность кладки обладает той же чистотой, что и внешняя. Однако в реальных условиях в силу малой ширины воздушной прослойки применяемым кладочным инструментом удаление выдавливаемого раствора проблематично, а швабрование прослойки невозможно, что приводит к частичному или полному ее перекрытию. Чтобы избежать накопления влаги и обеспечить нормативную интенсивность воздухообмена необходимо принимать меры по недопущению выдавливания раствора из шва кладки вовнутрь воздушной прослойки. Изготовленная авторами конструкция, представленная на рисунке 3, и апробированная в масштабных производственных условиях, показала высокую надежность и обеспечила достижение необходимого результата.

Устройство состоит из двух сплошных стержней квадратного или прямоугольного сечения с высотой 10–12 мм. (исходя из принятой высоты горизонтального шва) соединенных друг с другом перемычками для исключения взаимного поворота и снабженных пластинчатыми направляющими на концах, расстояние между которыми равно ширине облицовочного кирпича. Данное устройство помещается на выполненный ряд каменной кладки, пространство между стержнями заполняется кладочным раствором, укладывается кладочный элемент, осаживается до проектного положения, далее устройство перемещается. Длина предлагаемого устройства принималась кратной длине кирпича с учетом толщины вертикальных швов. Раствор шва не выдавливается ни на наружу, ни вовнутрь, так как этому препятствуют стержни. Чистота внутренней поверхности шва достигается, как и

у наружной, тем самым не создает излишнего сопротивления для движения в ней воздуха.

### **Заключение**

1. Расчетами установлено, что избыточное влагонакопление в виде конденсата происходит на наружной поверхности утеплителя многослойных конструкций.

2. Обследование внутренних поверхностей облицовочной кладки показало, что имеется значительная ее шероховатость, отрицательно сказывающаяся на вентиляции воздушной прослойки.

3. Изготовлено и испытано в производственных приспособление, обеспечивающее чистоту наружной и внутренней поверхности кладочных швов.

### *Список использованных источников*

1. Строительная теплотехника : СП 2.04.01–2020. – Введ. 20.01.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 73 с.
2. Каталог удельных потерь теплоты (тепловых мостиков) теплотехнически неоднородных узлов ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. – Введ. 0.01.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 211 с.
3. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СН 2.04.02–2020. – Введ. 30.03.2021. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 21 с.
4. Тепловая изоляция зданий и сооружений : СП 3.02.01–2020. – Введ. 7.12.2020. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 57 с.
5. Строительная климатология : СНБ 2.04.02–2000 – Минск : Минстройархитектуры, 2001. – 37 с.
6. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика: теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха : учебник для вузов / В. Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1992. – 415 с.
7. Лазаров, Р. Д. О построении и исследовании однородных разностных схем // Р. Д. Лазаров, В. Л. Макаров, А. А. Самарский. – Математический сборник. – 1982. – Т. 117(159), № 4. – С. 469–480.
8. Калиткин Н. Н. Численные методы.–Москва: "Наука", 1978, 512 с.
9. Гончаров, В. Л. Интерполяционные процессы и целые функции / В. Л. Гончаров. – Успехи математических наук. – 1937. – № 3. – С. 113–143.