

## ВЛАГОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ – УСЛОВИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

<sup>1</sup>Толстова Ю. И.

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

e-mail: ytolstova@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются показатели обеспечения безопасности зданий и сооружений. Одним из факторов, определяющих безопасность, является воздействие влаги на прочность ограждающих конструкций. Наряду с ограничением расчётных параметров внутреннего воздуха (температуры, относительной влажности и подвижности) необходимо рассматривать процессы возможного накопления влаги в толще ограждающих конструкций. Для решения этой задачи применён метод аналогии процессов тепло- и массообмена. Введено понятие влагоустойчивости ограждающих конструкций и приведена методика расчёта этого показателя. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ограждающих конструкций с учётом требований безопасности.

**Ключевые слова:** влагоустойчивость, ограждающие конструкции, безопасность.

## HUMIDITY STABILITY EXTERNAL CONSTRUCTIONS – CONDITION OF SAFETY

J. I. Tolstova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

e-mail: ytolstova@mail.ru

**Abstract.** Considered is possibility provision of safety for buildings and constructions. Conducted is humidity effect to external construction. Used are heat and mass analogy method. Inputted is concept “humidity stability” and reduced is calculation methodic. The results can be used for projecting external constructions security.

**Key words:** humidity stability, external constructions, safety.

### **Введение**

Влажностный режим наружных ограждающих конструкций (НОК) рассмотрен в работах [1–6]. Так, получено аналитическое решение задачи перемещения влаги в парообразном и жидком состоянии [1]. Разработаны нормы сопротивления паропрооницанию [7]. В работе [4] предлагается определять теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций (НОК) из условия предотвращения конденсации влаги в толще, а не на внутренней поверхности, как это требуют строительные нормы [7]. В. Н. Богословским [8] разработана методика расчёта влажностного режима на основе теории потенциала влажности. Однако разработанный К. Ф. Фокиным [6] графоаналитический метод расчёта влажностного режима остаётся наиболее конструктивным и наглядным. Метод позволяет вносить изменения в конструкцию ещё на стадии проектирования. При этом могут рассматриваться три направления:

- изменение расположения материальных слоёв;
- замена материалов слоёв;
- применение пароизоляционного слоя.

Одним из условий безопасности и долговечности зданий является устойчивость ограждающих конструкций к изменению влажностного режима. Известны такие негативные процессы, как разрушение материалов при попеременном замерзании и оттаивании, нарушение прочности материалов, конструкций и зданий в целом.

### Предмет и методы исследования

Для оценки устойчивости ограждающих конструкций к изменению влажностного режима применим метод аналогии процессов тепло – и массообмена и графоаналитический метод расчёта.

### Результаты

Критерием влагоустойчивости будем считать предельно – допустимое приращение влажности в материале за период влагонакопления  $\Delta w_{\text{доп}}$ , значения которого приводятся в СП [7] для различных материалов.

Согласно методике проф. К.Ф. Фокина, приведённой в [6], поступление водяного пара в зону конденсации  $m_1$ , мг/ (м<sup>2</sup>\*час), определим как

$$m_1 = (e_1 - e_{x1})/R_{n1}, \quad (1)$$

где  $e_1$  – действительное парциальное давление на границе слоя, предшествующего зоне конденсации, Па;  $e_{x1}$  – действительное парциальное давление водяного пара на входе в зону конденсации, Па;  $R_{n1}$  – сопротивление паропрооницанию участка слоя до зоны конденсации, м<sup>2</sup> \* ч\*Па/мг.

Количество водяного пара  $m_2$ , уходящего из зоны конденсации, равно

$$m_2 = (e_{x2} - e_n)/R_{n2}, \quad (2)$$

где  $e_{x2}$  – действительное парциальное давление на внешней границе зоны конденсации, Па;  $e_n$  – то же на наружной поверхности, Па.

Отметим, что значения действительных парциальных давлений на границах зоны конденсации совпадают с их максимальными значениями:  $e_x = E_x$ .

Таким образом, количество влаги (конденсата) определится как

$$\Delta m = m_1 - m_2. \quad (3)$$

В то же время количество влаги (конденсата) можно выразить через прирост относительной влажности  $\Delta w$ , % и вес 1 м<sup>2</sup> слоя материала:

$$\Delta m = \Delta w \rho V = \Delta w \rho \delta F = \Delta w \rho \delta, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\delta$  – толщина увлажняемого слоя, м;  $F$  – площадь слоя, м<sup>2</sup>.

Расчёт увлажнения выполняется для  $F = 1$  м<sup>2</sup>.

Тогда фактическое приращение влажности, %, за период влагонакопления  $Z$ :

$$\Delta w = 100 * \Delta m * Z / (\rho \delta), \quad (5)$$

где  $Z$  – период влагонакопления, сут., равный периоду с отрицательными среднемесячными температурами.

Критерием влагоустойчивости будем считать предельно – допустимое приращение влажности в материале  $\Delta w_{\text{доп}}$  за период влагонакопления. Значения  $\Delta w_{\text{доп}}$  приводятся в СП [7] для различных материалов.

Условием влагоустойчивости является соотношение:

$$\Delta w < \Delta w_{\text{доп.}} \quad (6)$$

Выбор параметров наружного воздуха для определения парциальных давлений зависит от принятых методик расчёта. Так, профессор К.Ф. Фокин [6] рекомендовал выполнять расчёт влажностного режима при средней температуре января. В СП [7] предложено при расчёте максимального парциального давления рассматривать среднюю температуру периода со среднемесячными отрицательными температурами. При расчёте парциального давления в плоскости максимального увлажнения за годовой период необходимо определять среднегодовое значение максимального парциального давления для трёх периодов: года: зимнего, осеннее – весеннего и летнего. Как показал опыт проектирования, это приводит к усложнению расчётов и получению несопоставимых результатов [9].

Следует отметить, что для реализации рекомендаций СП [7] необходим детальный расчёт влажностного режима и построение графиков действительного и максимального парциального давления, на основании которых можно установить границы зоны конденсации.

Выполним пример предложенной методики оценки влагоустойчивости для наружной стены из газобетона толщиной 0,5 м, оштукатуренной с внутренней стороны (рис. 1). Расчёт выполнен для г. Екатеринбург при средней температуре января  $t_n = -15^\circ\text{C}$ .

В результате расчёта влажностного режима по методике К.Ф. Фокина [6] при средней температуре января установлена возможность конденсации влаги во втором слое на расстоянии 0,2 м от границы утепляющего слоя. Толщина увлажняемого слоя  $\delta = 0,3$  м.

В табл. 1 приведены значения максимальных и действительных парциальных давлений водяного пара на внутренней и наружной поверхностях и на границе зоны возможной конденсации.

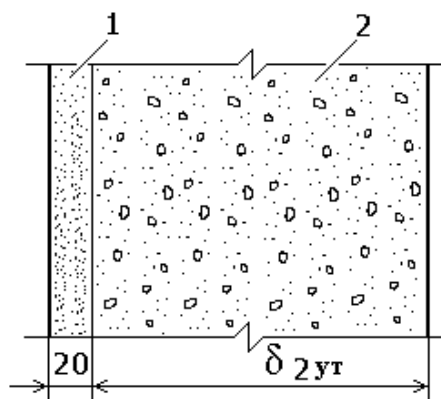


Рис. 1. Схема наружной стены: 1 – штукатурка известково-песчаная ( $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ );  
2 – газобетон ( $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$ )

Таблица 1

**Результаты расчёта влажностного режима**

Расстояния от внутренней поверхности, м	Максимальное парциальное давление $E$ , Па	Действительное парциальное давление $e$ , Па
0,02	2000	1254
0,22	900	900
0,52	154	154

С учётом результатов расчёта поступление водяного пара в зону конденсации по уравнению (1) составит:

$$m_1 = (e_1 - e_{x1}) / R_{п1} = (1254 - 900) / (0, 2/0,11) = 195 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{час}).$$

Так как в данном примере внешняя граница зоны конденсации совпадает с наружной поверхностью ограждающей конструкции, то парциальное давление  $e_{x2} = e_n$  и количество водяного пара, уходящего из зоны конденсации,  $m_2 = 0$ .

В результате количество конденсата  $\Delta m = m_1$  и прирост относительной влажности  $\Delta w$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности в слое газобетона плотностью  $\rho = 400 \text{ кг}/\text{м}^3$  за период влагонакопления  $Z = 170$  суток для условий примера составит по уравнению (5):

$$\Delta w = 100 \Delta m Z / (\rho \delta) = 100 * 195 * (170 * 24) / (400 * 10^6 * 0,3) = 0,66 \text{ \%}.$$

Полученное значение не превышает предельно – допустимого приращения влажности в материале за период влагонакопления для газобетона  $\Delta w_{\text{доп}} = 6 \text{ \%}$  [7]. Таким образом, условие влагоустойчивости для рассмотренной конструкции выполняется.

Для более точных результатов необходимо выполнить расчёты для трёх периодов: года: зимнего, осеннее – весеннего и летнего при среднем значении температуры наружного воздуха этих периодов с учётом продолжительности их стояния по климатологическим данным для района строительства.

### Выводы

1. Установлено, что одним из условий безопасности зданий и сооружений является влагоустойчивость ограждающих конструкций.
2. В качестве критерия влагоустойчивости предложено использовать предельнодопустимое приращение влажности в материале согласно данным, приведённым в Своде правил (СП) [7].
3. Приведена методика расчёта приращения влажности в материале ограждающих конструкций за период влагонакопления.
4. Обоснована необходимость расчёта и построения границ зоны конденсации.
5. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ограждающих конструкций с учётом требований безопасности.

### Список литературы

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Метод инженерного расчёта влажностного состояния ограждающих конструкций, учитывающий перенос парообразной и жидкой влаги // Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М. МГСУ. 2005. С. 49 – 53.
2. Корниенко С.В. Методы инженерной оценки температурно-влажностного режима ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности // Сборник докладов V международной научно-технической конференции. М.: МГСУ. 2013. С. 34 – 40.
3. Садьков Р.А. Обобщённая математическая модель процессов стационарного нелинейного переноса с учётом фильтрации воздуха, испарения или конденсации парообразной влаги. // Вестник МГСУ. №7, 2011. С.222 – 228.
4. Перехоженцев А.Г. Комплексный расчёт тепло- и пароизоляции многослойных ограждающих конструкций // Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М. МГСУ. 2007. С. 71 – 76. (расчёт с использованием треб сопр. паропроницанию.)
5. Гагарин В.Г. Анализ теплофизических свойств современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Сборник докладов III международной научно-

технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М.: МГСУ. 2009. С. 74–79.

6. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Госиздат лит-ры по строительству и архитектуре. 1953. 320с. Переизд. М.: изд. АВОК – пресс. 2006. 320 с.

7. Свод правил СП 50. 13330.12. Тепловая защита зданий: Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Введён 01.01.2013. М.: Минрегион России, 2012. 96 с.

8. Богословский В.Н. Строительная теплофизика: учебник для ВУЗов. Санкт – Петербург: издательство. АВОК СЕВЕРОЗАПАД. 2006. 400с.

9. Личман В. А. О методах расчёта влажностного состояния ограждающих конструкций зданий // Энергосбережение. № 4.2018. С. 34–36.