



О ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗА СЧЕТ ПРАВИЛЬНОГО ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: влажность, помещение, строительный материал, строительная конструкция, теплообмен

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, советник РААСН, ведущий научный сотрудник НИЦ ГП ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Влажность в помещениях с постоянным пребыванием людей характеризуется значительными суточными колебаниями. Строительные материалы и конструкции можно использовать для регулирования влажности в помещениях. Это важно не только для создания комфортных условий, но и для сохранения культурных артефактов, чувствительных к изменению влажности. В статье раскрыта закономерность влияния характеристик состояния и переноса влаги в капиллярно-пористых строительных материалах на изменение влажности воздуха в помещениях при периодических колебаниях влажности и потоков влаги.

Необходимость повышения качества внутренней среды и ограждающих конструкций требует решения актуальной задачи пассивного регулирования влажности помещений. Определим закономерность влияния характеристик состояния и переноса влаги в капиллярно-пористых строительных материалах на изменение влажности воздуха в помещениях при периодических колебаниях влажности и потоков влаги, используя аналогию между процессами тепло- и влагообмена.

Влажностные волны

Влажность воздуха в помещении влияет на здоровье людей [1]. Согласно ГОСТ 30494–2011¹, оптимальная относительная влажность воздуха в обслуживаемой зоне жилого помещения должна составлять 30–45 %. При влажности выше 60 % создаются благоприятные условия для развития плесневых грибов, что может вызывать аллергические реакции и заболевания дыхательных путей. При влажности ниже 30 % происходит пересыхание слизистых оболочек, что делает их более уязвимыми для инфекций. Сухой воздух снижает иммунитет, ухудшает состояние кожи, снижает качество сна [2].

Влажность в помещениях с постоянным пребыванием людей характеризуется значительными суточными колебаниями. Строительные материалы, изделия и конструкции можно использовать для регулирования влажности в помещениях. Это важно не только для создания комфортных условий, но и для сохранения культурных артефактов, чувствительных к изменению влажности [3].

При повышении влажности внутреннего воздуха материалы, контактирующие с ним, поглощают влагу из воздуха, а при понижении влажности – отдают влагу. Следовательно, за счет сорбционных свойств материалов можно избежать чрезмерно низкой или высокой влажности воздуха в помещениях. Такой способ положен в основу пассивного кондиционирования воздуха (рис. 1) и отвечает современной направленности работ в области строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях [4–6].

Вместе с тем следует отметить, что вопросы, связанные с периодическими колебаниями влажности и потоков влаги в помещениях и ограждениях, недостаточно хорошо изучены. Это затрудняет оценку влияния материалов на влажностный режим помещений и поиск новых конструктивных решений.

Амплитуда колебаний влажности воздуха

На баланс влаги в помещениях влияют два противоположных фактора. С одной стороны, увеличение влажности воздуха приводит к росту влажности в обслуживаемой зоне помещений. С другой стороны, применение для отделки помещения гигроскопичных материалов способствует поглощению влаги из воздуха, что уменьшает его влажность.

Таким образом, амплитуду колебания влажности воздуха в помещении можно определить из формулы (1) (см. Формулы), которая получена без учета сдвига фаз между колебаниями потока влаги и влажности воздуха. Влияние на удельное влагопоглощение несовпадения сдвигов фаз для отдельных ви-

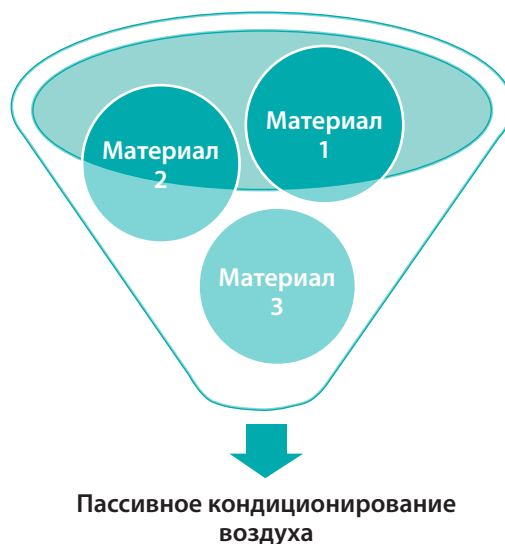


Рис. 1. Воронка влажности (входное отверстие воронки соответствует большей амплитуде колебаний, выходное – меньшей амплитуде)

дов ограждений составляет 3–5 % [7], поэтому его можно не учитывать. Влияние негармоничности колебаний можно при необходимости учесть с помощью коэффициента неравномерности влаговыделений в помещении [8]. Для жилых помещений влияние мебелировки можно не учитывать [8].

Формулы

Номер формулы в тексте	Формула
(1)	$A_p = \frac{mV}{\sum BS}$
(2)	$\delta_m = \sqrt{\frac{a_m z_p}{\pi} \ln(n)}$
(3)	$B = \sqrt{\frac{2\pi\mu\rho_0 \left(\frac{\partial u}{\partial \varphi}\right)_t}{\rho_s(t)z_p}}$

Обозначения в формулах

- A_p – амплитуда парциального давления водяного пара в помещении, Па
- m – удельное влаговыделение в помещении, кг/(м³•с)
- V – объем помещения, м³
- B – влагопоглощение поверхности ограждающей конструкции (удельное влагопоглощение), кг/(м²•с•Па)
- S – площадь конструкции, м²
- δ_m – толщина слоя резких колебаний, м
- a_m – потенциалопроводность материала, м²/с
- z_p – период колебаний влажности материала или потока влаги, с
- n – кратность затухания влажностных колебаний в конструкции
- μ – паропроницаемость материала, кг/(м•с•Па)
- ρ_0 – плотность материала в сухом состоянии, кг/м³
- u – влагосодержание, кг/кг
- φ – относительная влажность воздуха в порах материала
- $\partial u / \partial \varphi$ – удельная влагоемкость, кг/кг
- ρ_s – давление насыщенного водяного пара, Па

¹ ГОСТ 30494–2011. Межгосударственный стандарт. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (введен в действие Приказом Росстандарта от 12 июля 2012 года № 191-ст, ред. от 20 декабря 2022 года).

Таблица 1 Расчетные влажностные характеристики материалов (при температуре 20 °С)

Материал	Характеристики материала			
	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Паропроницаемость μ , кг/(м ² •с•Па)	Удельная влагоемкость $\partial u/\partial \varphi$, кг/кг	Потенциалопроводность a_m , м ² /с
Кирпич	1 600	3,00E-11	2,40E-03	1,83E-08
Гипсовые плиты	1 000	2,50E-11	3,10E-02	1,89E-09
Бетон	2 250	5,00E-12	9,50E-02	5,48E-11
Доски (сосна)	430	1,50E-11	1,91E-01	4,29E-10
Ячеистый бетон	500	7,00E-11	7,14E-02	4,60E-09

Формула (1) позволяет рассчитать амплитуду парциально-го давления водяного пара воздуха в помещении. Переход к относительной влажности воздуха осуществляется с помощью известной зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры $p_s(t)$.

Слой резких колебаний влажности в конструкции

Изменение влажности воздуха в помещении приводит к изменению потока влаги на поверхности ограждающих конструкций, следовательно, в конструкции образуется влажностная волна, затухающая по мере удаления от внутренней поверхности ограждения.

Удельное влагопоглощение ограждающей конструкции представляет собой отношение амплитуды колебания потока влаги на поверхности конструкции к амплитуде колебания влажности воздуха. При определении этой характеристики большое значение имеет слой резких колебаний влажности. В пределах этого слоя амплитуда колебания влажности материала уменьшается в заданное число раз. Толщину слоя резких колебаний можно определить по формуле (2), которая получена на основе решения одномерного уравнения влагопроводности для полуграниченного тела при граничном условии на поверхности тела в виде изменения влажности материала по закону гармонического колебания.

Из формулы (2) видно, что глубина проникновения влажностных волн в конструкцию тем больше, чем выше потен-

циалопроводность материала и чем медленнее происходят колебания (больше их период).

Для расчета толщины слоя резких колебаний воспользуемся влажностными характеристиками материалов [7, 9], приведенными в табл. 1.

Кратность затухания влажностных колебаний в конструкции принята равной 100 [10].

Результаты расчета толщины слоя резких колебаний представлены на рис. 2, из которого видно, что минимальная толщина слоя резких колебаний характерна для тяжелого бетона (6 мм), максимальная – для кирпича (103 мм). Влажностные волны распространяются на большую глубину в кирпичной кладке по сравнению с бетонной стеной.

Влагопоглощение поверхности ограждающих конструкций

Предполагается, что колебания влаги на поверхности конструкции полностью затухают в ее толще. Поэтому на влагопоглощение поверхности ограждения оказывают влияние только влажностные свойства материалов, расположенных в слое резких колебаний. Остальная часть конструкции, находящаяся за пределами этого слоя, на влагопоглощение ее поверхности почти не влияет. В этом случае влагопоглощение поверхности ограждающей конструкции можно определить по формуле (3), которая аналогична формуле расчета теплоусвоения материала. Влагообмен на поверхности здесь не учитывается. Из формулы (3) видно, что величина B зависит от периода колебаний

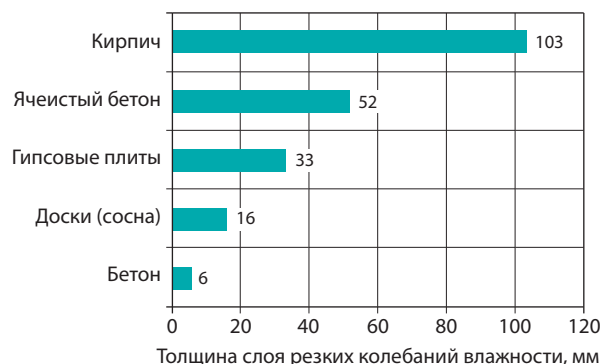


Рис. 2. Толщина слоя резких колебаний влажности (суточные колебания)



Рис. 3. Влагопоглощение поверхности ограждающих конструкций из различных материалов, кг/(м²•с•Па), при суточных колебаниях влажности

Таблица 2 Исходные данные для расчета

Конструкция	Площадь конструкции S , м ²	Сценарий 1		Сценарий 2	
		Материал конструкции	Влагопоглощение V , кг/(м ² •с•Па)	Материал конструкции	Влагопоглощение V , кг/(м ² •с•Па)
Пол	21,6	Бетон	5,76E-09	Сосновые доски	6,17E-09
Потолок	21,6	Бетон	5,76E-09	Гипсовая штукатурка	4,90E-09
Стены	43,9	Кирпичная кладка	1,89E-09	Ячеистый бетон	8,81E-09
Дверь	1,89	Сосна	6,17E-09	Сосна	6,17E-09
Окно	2,25	Стеклопакет	0,00E+00	Стеклопакет	0,00E+00

потока влаги, паропроницаемости материала, удельной влагоемкости, плотности материала, а также от давления насыщенного водяного пара при данной температуре.

Результаты расчета влагопоглощения поверхности ограждающих конструкций, выполненных из различных материалов (табл. 1), представлены на рис. 3.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает (рис. 3), что наибольшее влагопоглощение имеют конструкции, выполненные из влагоемких паропроницаемых материалов, наименьшее – из материалов с малой влагоемкостью и паропроницаемостью.

Результаты использованы при оценке влияния влагопоглощения ограждающих конструкций на изменение влажности воздуха в помещении.

Регулирование влажности воздуха в помещениях

Определим амплитуду колебания влажности воздуха в жилой комнате при влаговыделениях один раз в сутки. Расчет выполнен при двух сценариях отделки помещения (табл. 2).

Общая площадь поверхностей помещения $S_0 = 91,2$ м², объем $V = 54$ м³. Удельные влаговыделения в помещении $m = 2,00E-06$ кг/(м³•с). Температура внутреннего воздуха $t_b = 20$ °С. Средняя относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_b = 50$ %. Давление насыщенного водяного пара $p_s(20) = 2\,344$ Па.

В результате расчетов установлено:

- суммарное влагопоглощение ограждающих конструкций составляет:

- по сценарию 1 – 3,43E-07 кг/(с•Па);
- по сценарию 2 – 6,37E-07 кг/(с•Па);

- амплитуда колебания парциального давления водяного пара воздуха в помещении, определенная по формуле (1), равна:

- по сценарию 1 – ±314 Па;
- по сценарию 2 – ±169 Па;

- амплитуда колебания относительной влажности воздуха в помещении:

- по сценарию 1 – ±0,13 (или ±13 %);
- по сценарию 2 – ±0,07 (или ±7 %).

Таким образом, получаем, что относительная влажность воздуха в течение суток изменяется:

- в исходном сценарии 1 в интервале от 37 до 63 %, что не соответствует требованиям ГОСТ 30494–2011;

- в сценарии 2 в интервале от 43 до 57 %, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 30494–2011.

Можно утверждать, что применение для отделки помещений экологически безопасных энергоэффективных материалов стабилизирует влажностный режим и повышает комфортность среды обитания.

Литература

1. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания в России: настоящее и будущее. К двадцатилетнему юбилею монографии «Энергоэффективные здания» // АВОК. 2024. № 1. С. 4–13.

2. Шилкин Н. В., Бродач М. М. Нормативно-правовое регулирование комфортной среды обитания человека в России // Энергосбережение. 2023. № 5. С. 1–7.

3. Зимин С. С., Горшков Р. А., Войлоков И. А., Корниенко С. В. Причины образования трещин в штукатурке неотпливаемых каменных зданий // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 10. С. 1297–1306.

4. Корниенко С. В. Биомиметика: идеи, вдохновленные природой // Социология города. 2021. № 4. С. 27–38.

5. Мусорина Т. А., Петриченко М. Р., Заборова Д. Д., Гамаюнова О. С., Куколев М. И. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 22 (74). С. 57–65.

6. D’Ayala D., Aktas Y.D. Moisture dynamics in the masonry fabric of historic buildings subjected to wind-driven rain and flooding // Building and Environment. 2016. No. 104. Pp. 208–220.

7. Moisture Buffering of Building Materials / C. Rode, R.H. Peuhkuri, L.H. Mortensen [et al] // Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. BYG Report No. R-12, 2005. 78 p.

8. Rode C., Peuhkuri R. The concept of moisture buffer value of building materials and its application in building design // Healthy Buildings: Creating a Healthy Indoor Environment for People, Proceedings OUR. 2006. Vol. 3. Pp. 6.

9. Корниенко С. В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 74–78.

10. Pavlíka Z., Fort J., Pavlíková M., Pokorný J., Trník A., Černý R. Modified lime-cement plasters with enhanced thermal and hygric storage capacity for moderation of interior climate // Energy and Buildings. 2016. Vol. 126. Pp. 113–127. ■