

<https://doi.org/10.23746/2017-9-20>

Лешкевич Владимир Владимирович, старший научный сотрудник, Белорусский национальный технический университет, филиал БНТУ «Научно-исследовательская часть», г. Минск (Беларусь)

Крутилин Антон Борисович, ведущий инженер, Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь)

Протасевич Анатолий Михайлович, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры, Белорусский национальный технический университет, г. Минск (Беларусь)

Uladzimir Liashkevich, Senior researcher, Belarusian National Technical University, the Branch of the BNTU «Research Division», Minsk (Belarus)

Anton Krutilin, Senior engineer, Republican Unitary Scientific-Research Enterprise for Construction «Institute BelNIIS», Minsk (Belarus)

Anatol Pratasevich, PhD in Engineering Science, Docent, Associate Professor of Department, Belarusian National Technical University, Minsk (Belarus)

ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕНОС В ОГРАЖДЕНИЯХ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА СО ШТУКАТУРНЫМИ СЛОЯМИ ПОЛИМЕРНО-ЦЕМЕНТНЫМИ СОСТАВАМИ

HEAT AND MOISTURE TRANSFER IN THE WALLS OF AERATED CONCRETE WITH POLYMER-CEMENT PLASTER

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты натурных исследований влажностного состояния материалов стен из ячеистого автоклавного бетона со штукатурными слоями из полимерно-цементного состава. Показано, что влажность ячеистого бетона превышает допустимую. Сделаны выводы о необходимости применения для расчётов тепловлажностного состояния ограждений методов, основанных на нестационарном режиме переноса в них теплоты и влаги.

Описаны использованные методики, а также представлены результаты лабораторных исследований характеристик переноса влаги в ячеистом автоклавном бетоне и полимерно-цементном штукатурном составе в области сорбционного и сверхсорбционного увлажнения. Исследование характеристик переноса влаги выполнено на основе двухсторонней сушки образцов в эксикаторах над концентрированной серной кислотой при положительных и отрицательных температурах. Проведены анализ полученных данных и сравнение с данными из других источников.

На основе полученных данных выполнено численное решение задачи совместного переноса тепла и влаги в наружной стене из ячеистого автоклавного бетона с использованием метода конечных элементов и экспериментального потенциала влажности. Эталонным телом для определения значения потенциала влажности принята фильтровальная бумага. Характеристики переноса влаги приняты по результатам проведенных лабораторных исследований, параметры наружной среды – по результатам натурных наблюдений. Расчётным путем установлено, что при начальной влажности ячеистого бетона, соответствующей отпусковой, сушка стены с наружным и внутренним слоями полимерно-цементной штукатуркой происходит наиболее интенсивно в первые 4 года эксплуатации, после чего замедляется. Выход средней влажности ячеистого бетона на расчётные значения наблюдается только после почти десяти лет эксплуатации.

ABSTRACT

The results of field-studies of the moisture state of wall materials made of cellular autoclaved concrete with polymer-cement plaster layers are presented. It is shown that the moisture of cellular concrete exceeds the permissible level. Conclusions are drawn about the need to use methods based on non-stationary transfer of heat and moisture.

The methods used and the results of laboratory studies of the characteristics of moisture transfer in cellular autoclaved concrete and polymer-cement plaster in the field of sorption (hygrothermal) and above sorption (hydrothermal) humidification are described. The study of the characteristics of moisture transfer under isothermal conditions

is based on two-sided drying of samples in desiccators over surface of concentrated sulfuric acid at positive and negative temperatures. The analysis of the obtained data and comparison with data from other sources is carried out.

On the basis of the data obtained, a numerical solution of the problem of the joint transfer of heat and moisture in the outer wall from cellular autoclaved concrete using the finite element method and the experimental moisture potential is performed. The reference solid for determining the value of the moisture potential is the filter paper. The characteristics of moisture transfer are taken from laboratory tests. The parameters of the external environment are taken from the results of field observations. By calculation it was found out that with the start humidity of cellular concrete alike to output from the factory, the drying of the wall with the outer and inner polymer-cement plaster takes place most intensively in the first 4 years, and then slows down. The average humidity of cellular concrete reaches design values only after almost ten years of operation.

Ключевые слова: нестационарный тепловлажностный режим, экспериментальный потенциал влажности, коэффициент потенциалопроводности, термоградиентный коэффициент влагопереноса, сушка стен, метод конечных элементов

Keywords: non-stationary heat and moisture transfer regime, the experimental moisture potential, diffusivity coefficient of moisture potential, thermogradient coefficient of moisture transfer, drying of walls, finite element method

ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве широко распространены наружные стены зданий, выполненные в виде кладки блоков из ячеистых автоклавных бетонов (газосиликата). Выполнены они толщиной от 300 до 500 мм с внутренней штукатуркой сложным раствором либо полимерно-цементной композицией и наружным штукатурным слоем из полимерно-цементных составов. Данные конструкции применяются как в малоэтажном

строительстве, так и в высотном (для возведения самонесущих наружных стен).

Обследование ряда объектов с дефектами наружных стен в виде кладки блоков из ячеистых автоклавных бетонов после 6–8 лет эксплуатации показало, что они имеют множественные разрушения наружного штукатурного слоя и прилегающих к нему участков ячеистого бетона. В процессе исследований взяты пробы материалов стен и определена их массовая влажность. По результатам натурных исследований четырёх зданий построено распределение массовой влажности ячеистого бетона, представленное на рисунке 1. Проектное значение плотности бетона блоков исследованных конструкций составляет 600 кг/м^3 . По полученным данным, максимальное значение массовой влажности ячеистого бетона составило $w = 62,5\%$. Эксплуатационная влажность, рассчитанная по методике [1], составила $w_s = 30,1\%$. Полученные значения массовой влажности ячеистого бетона превышают как расчётные массовые соотношения влаги в материале, приведенные в [2], так и максимальное сорбционное влагосодержание, а также отпускную влажность бетона блоков, равную $w_o = 35\%$ [3].

Учитывая, что отпускная влажность ячеистого бетона значительно выше максимального сорбционного влагосодержания, первоначальным проектным решением можно было предусмотреть мероприятия по выходу влажностного состояния материалов в расчётный режим эксплуатации, то есть обеспечить её сушку.

В то же время расчёт ограждения по методам на основе стационарного движения водяного пара показывает, что влажность ячеистого бетона не превышает максимальную сорбционную. Это связано с тем, что такие методики ориентированы на анализ конструкции с точки зрения недопущения накопления влаги в режиме эксплуатации и не учитывают случай «консервации» строительной и технологической влаги внутри стены.

Данные виды влаги могут быть учтены при выполнении расчётов нестационарного тепловлажностного состояния ограждающих конструкций, которые целесообразно проводить на основе теории потенциала влажности.

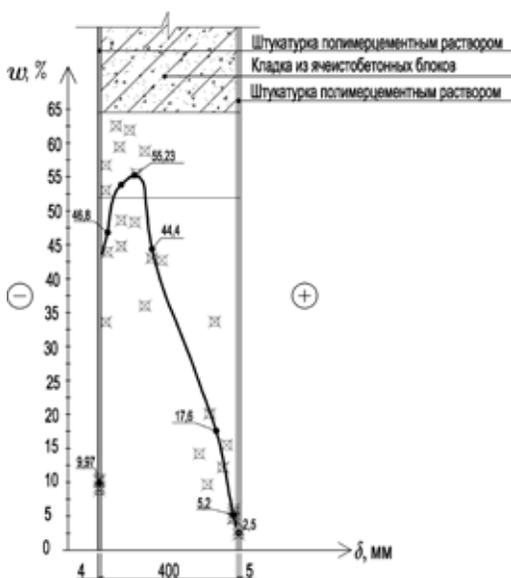


Рисунок 1. Распределение массовой влажности по сечению наружных стен из ячеистого бетона автоклавного твердения

В основу исследований положена модель совместного переноса тепла и влаги в ограждающих конструкциях, сформулированная А. В. Лыковым [4], которая охватывает весь диапазон влажности тела – от абсолютно сухого состояния до полного влагонасыщения.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение характеристик влагопереноса, необходимых для использования в расчётах нестационарного тепловлажностного режима ограждений, выполнены на образцах ячеистого бетона производства ОАО «Забудова» и полимерно-цементной штукатурки «Полимикс-ВШ».

Коэффициент потенциалопроводности влагопереноса a_m , аналогичный по смыслу коэффициенту температуропроводности в теории теплопереноса, является основным коэффициентом

массопереноса и определён как коэффициент пропорциональности в основном законе изотермической влагопроводности:

$$j_m = -a_m \rho \nabla u, \quad (1)$$

где j_m – поток влаги, кг/(м·с); ρ – плотность сухого материала, кг/м³; a_m – коэффициент потенциалопроводности влагопереноса, м²/с; u – массовое влагосодержание в долях, кг/кг.

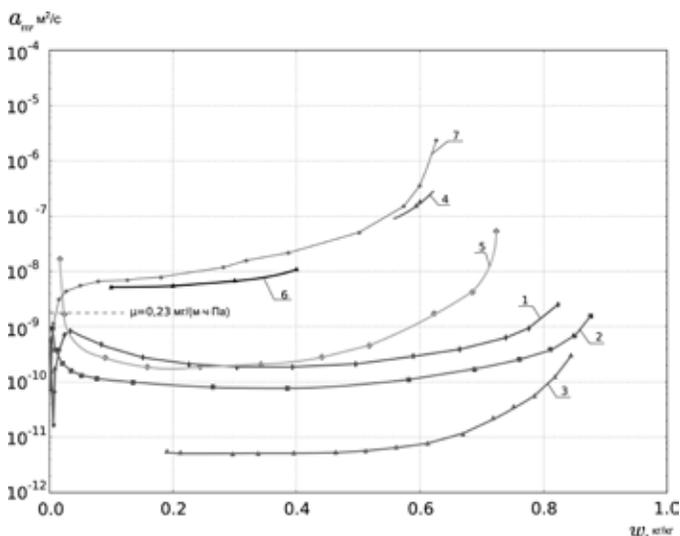
Способы определения a_m разнообразны и широко освещены в работах [4, 6]. В работе использовались методы, осуществление которых представлялось возможным в условиях имеющегося лабораторного оборудования – методы А. Г. Перехоженцева [5] и А. В. Лыкова [4].

Метод А. Г. Перехоженцева позволяет определить коэффициент a_m во всём диапазоне влажности образца. При использовании данного метода в настоящей работе представилось целесообразным выполнить некоторые усовершенствования. Двухсторонняя сушка образцов производилась в эксикаторах над поверхностью концентрированной серной кислоты, что дало некоторые преимущества по сравнению с сушкой в условиях воздушной среды лаборатории. Парциальное давление водяного пара над концентрированной 96% серной кислотой близко к нулю в широком диапазоне температур. Поэтому сушка образцов в эксикаторах даёт возможность получать коэффициенты a_m в более широком диапазоне влажностей, так как относительная влажность воздуха в эксикаторах получается значительно ниже, чем в помещении. Кроме того, низкое значение относительной влажности воздуха несколько ускоряет сушку образца благодаря высокой разности потенциалов влагопереноса воздуха и исследуемого материала, а также позволяет избежать влияния конвективных токов, присутствующих в помещении. Эксикаторы можно помещать в термостатированные шкафы, что даёт возможность получения a_m материалов при различных температурах.

До начала эксперимента доведенные до максимального увлажнения образцы в виде призм и цилиндров влагоизолировались с помощью полиэтилена и выдерживались при выбранной температуре не менее 7 дней. Далее с боковых поверхностей

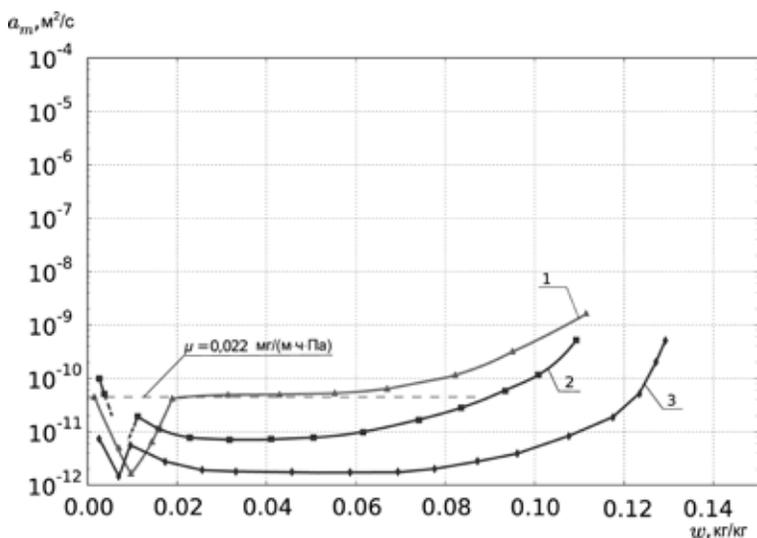
образцов удалялась влагоизоляция, они взвешивались и помещались в эксикаторы с концентрированной серной кислотой. В процессе сушки выполнялось периодическое взвешивание образцов и строилась кривая убыли массы от времени. Дальнейшая обработка данных выполнялась согласно методике [5]. Сушка образцов ячеистого бетона производилась в эксикаторах над поверхностью концентрированной серной кислоты при температуре +25 °С, +6 °С, -21 °С, образцов полимерно-цементной штукатурки – при температуре +30 °С, +6 °С, -21 °С. После обработки полученных данных построены зависимости изменения коэффициента потенциалопроводности влагопереноса от массовой влажности образцов (рисунки 2, 3).

Результаты эксперимента показывают, что в сорбционной зоне увлажнения ячеистого бетона и полимерцементной штукатурки наблюдается резкое снижение значения коэффициента потенциалопроводности влагопереноса.



Получены в настоящей работе: 1 - при $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 - при $t=6\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 - при $t=-21\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 4 - по методу А. В. Лыкова [4] при $t=22\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 Из других источников: 5 - при комнатной температуре [5]; 6 - при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4];
 7 - при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ по данным [7]

Рисунок 2. Зависимость коэффициента α_m ячеистого силикатного бетона плотностью 400 кг/м³ от массовой влажности при различной температуре



1 - при $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 - при $t = 6 \text{ }^\circ\text{C}$; 3 - при $t = -21 \text{ }^\circ\text{C}$

Рисунок 3. Зависимость a_m полимерно-цементной штукатурки от массовой влажности при различной температуре

Минимальные значения a_m у ячеистого бетона соответствуют массовым влажностям от 0,002 до 0,006 кг/кг, у полимерцементной штукатурки – от 0,007 до 0,013 кг/кг. Данные участки соответствуют равновесной относительной влажности воздуха от 50 до 55% по изотерме сорбции полимерцементной штукатурки и диапазону от 30 до 40% относительной влажности воздуха по изотерме сорбции ячеистого бетона. Снижение a_m может быть связано с процессом образования плёнок адсорбата (воды) на поверхности пор, которые образуются при относительных влажностях воздуха, превышающих 30% [5].

Следует отметить, что результаты согласуются с данными, полученными для ячеистого бетона по методу двухсторонней сушки, представленными в [5] (график 5 на рисунке 2). Графики 6 и 7 на рисунке 2 отображают зависимости a_m от массовой влажности соответственно автоклавного бетона плотностью $400 \text{ кг}/\text{м}^3$, построенную по данным [4] и ячеистого бетона плотностью $400 \text{ кг}/\text{м}^3$, полученную методом пропитки образца [7]. График 4 на рисунке

2 показывает зависимость a_m от массовой влажности, определенную по методу А. В. Лыкова [4]. Значения близки к результатам, определяемым по методам на основе пропитки образца. Как видно, метод А. В. Лыкова, несмотря на снижение влажности образца в процессе опыта, даёт значения a_m , близкие к полученным по методам пропитки. Различие между экспериментальными значениями по методикам на основе сушки и впитывании (пропитывании) образцами влаги отмечается также в работах [5, 8], где дано обоснование использования методов определения a_m , основанных на сушке образцов при исследовании ограждающих конструкций.

Штриховой линией на рисунке 2 отмечено значение a_m , соответствующее значению коэффициента паропроницаемости $\mu = 0,23$ мг/(м·ч·Па) для данной плотности материала [2]. Полученные значения a_m располагаются несколько ниже указанной величины, что может являться как следствием более низкого значения паропроницаемости исследуемой партии ячеистого бетона по сравнению с нормативными значениями, так и следствием разных физических явлений, на которых рассмотрены методы определения μ и a_m .

На рисунке 3 представлены зависимости коэффициента a_m полимерцементной штукатурки от массовой влажности при различных температурах. Полученные зависимости аналогичны описанным для ячеистого бетона. Значение a_m , соответствующее значению коэффициента паропроницаемости $\mu = 0,022$ мг/(м·ч·Па) в широком диапазоне области увлажнения близко полученным значениям a_m образцов при 30 °С. Так как определение коэффициентов паропроницаемости производится при температуре 20 ± 2 °С, можно предположить, что экспериментальные значения a_m при той же температуре будут ниже значения, соответствующего коэффициенту паропроницаемости μ .

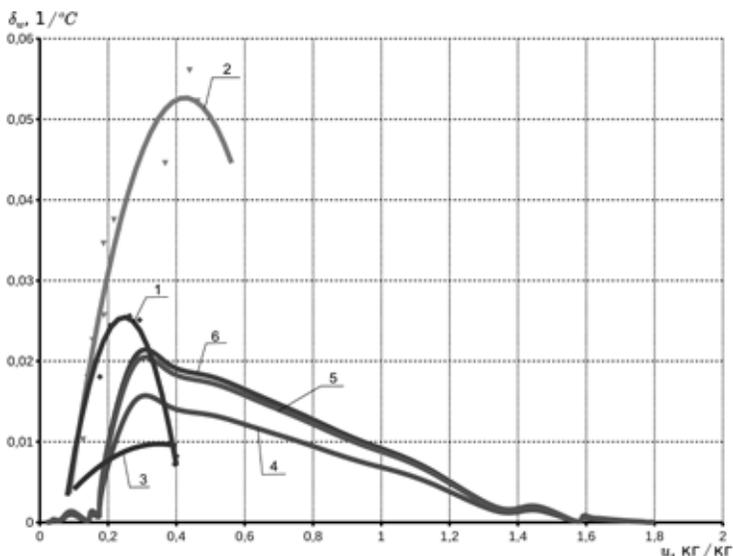
$$\delta_w \approx \frac{\Delta u}{\Delta t}, \quad (2)$$

где Δu – изменение влажности в долях; Δt – температурный перепад, °С.

Исследования выполнялись в следующей последовательности. Образцы ячеистого бетона в виде прямоугольных

параллелепипедов с основанием 50×50 мм доводились до требуемого значения влажности путём добавления необходимого количества дистиллированной воды, влагоизолировались и выдерживались в условиях лаборатории около двух недель. После этого образцы разрезались на более мелкие по высоте (25 и 30 мм) для получения набора образцов (серии) одинаковой влажности. Каждый образец серии отдельно влагоизолировался, и вся серия помещалась между плитами прибора для определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме «NETZSCH HFM 436 Lambda». Пространство между образцами заполнялось полимерным утеплителем. Исследования выполнены при двух температурных режимах. Первый – с температурами соответственно верхней и нижней плит +34,2 и +14,8 °С, второй – +7,7 и –10,7 °С. Средняя температура образцов составила +24,5 °С в первом и –1,5 °С во втором режиме. В таких условиях образцы выдерживались 120 часов. По истечении указанного времени один из образцов серии извлекался, и послойно определялась его влажность. Через одни-двое суток извлекался следующий образец, распределение влажности в котором сравнивалось с первым. При одинаковом распределении массовой влажности извлеченных образцов эксперимент прекращался, и исследовалось её распределение в остальных образцах. На основании полученных значений влажности и температуры плит прибора рассчитывалось стационарное температурное поле образца, и вычислялся термоградиентный коэффициент δ_w .

На рисунке 4 кривые 1, 2 построены по результатам проведенных исследований. Кривая 3 выполнена по значениям δ_w для автоклавного бетона плотностью 400 кг/м³, приведенным в [4]. Кривые 4, 5, 6 для газосиликата плотностью 390 кг/м³ построены по расчётным значениям из [5]. При анализе данных, представленных на рисунке 4, необходимо учитывать, что зависимости получены для материалов, выпущенных в различные годы по различным технологиям и с применением различного исходного сырья. Максимальное значение δ_w при положительных температурах наблюдается при влажностях, превышающих сорбционные. При снижении температуры наблюдается смещение максимума δ_w в сторону увеличения массовой влажности.



1 – при $t = 24,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – при $t = -1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ по данным [4];
4, 5, 6 – расчётные данные соответственно при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ по данным [5]

Рисунок 4. Зависимости δ_w ячеистого бетона от массовой влажности при различной температуре

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ СТЕНЫ

На основе системы уравнений совместного переноса тепла и влаги в материалах ограждений, базирующей на теории экспериментального потенциала влажности [4], составлена компьютерная программа расчёта нестационарных полей температуры и влажности ограждений с использованием численного способа решения дифференциальных уравнений по методу конечных элементов, принципы реализации которой описаны в [9].

Рассмотрена конструкция стены, представленная на рисунке 1. Стена выполнена в виде кладки блоков из ячеистого бетона толщиной 400 мм (плотность ячеистого бетона 400 кг/м^3). Наружная и внутренняя поверхности кладки оштукатурены полимерно-цементным раствором толщиной слоя 4 мм снаружи и 5 мм внутри. С помощью разработанной компьютерной программы выполнен

расчёт влажностного состояния (сушки) данной стены в процессе многолетней эксплуатации. Результаты расчетов на начало и конец отопительного периода представлены на рисунках 5, 6, 7.

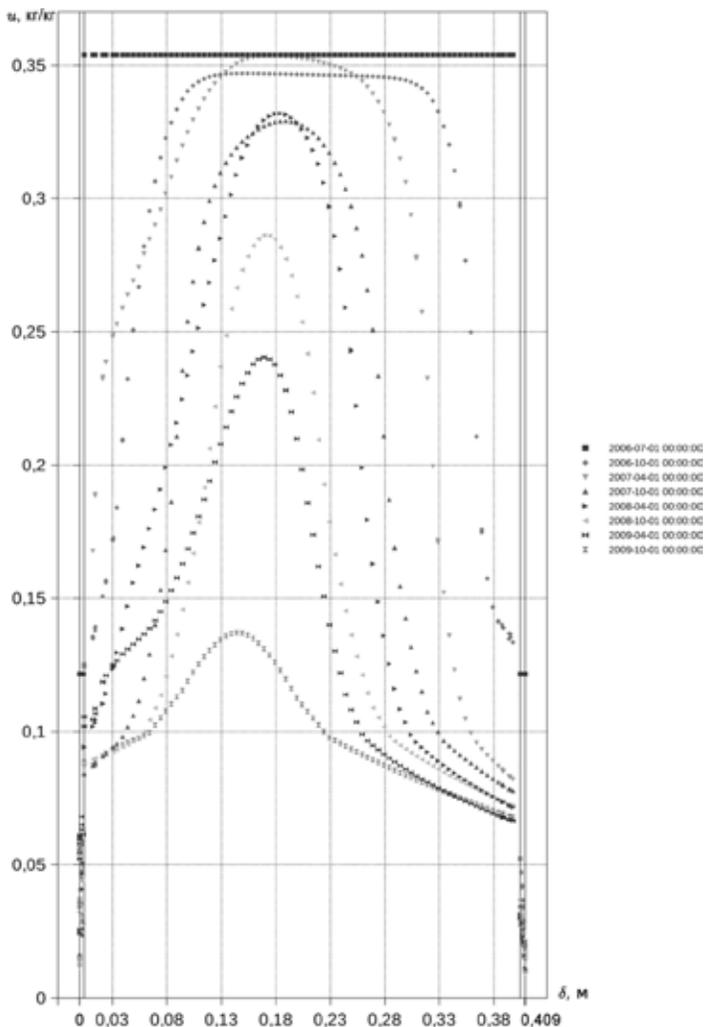


Рисунок 5. Распределение массовой влажности по сечению стены за период с 1.07.2006 по 1.10.2009

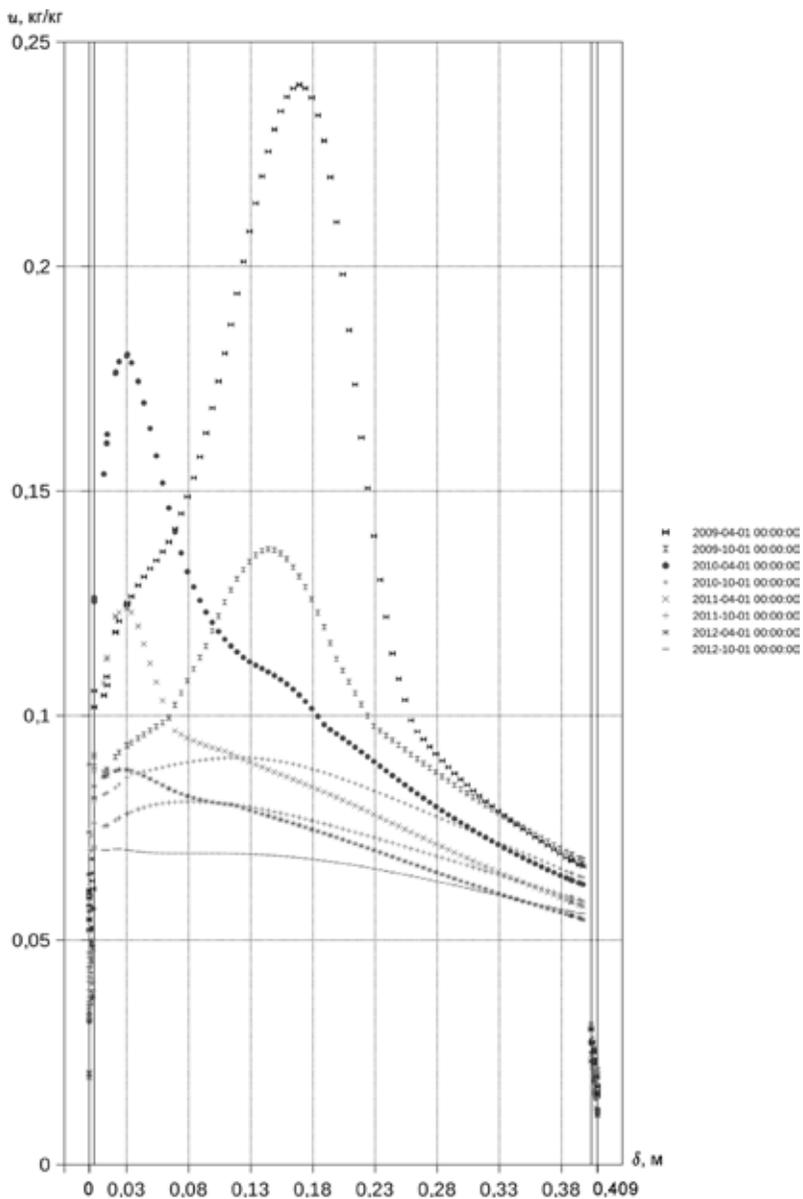


Рисунок 6. Распределение массовой влажности по сечению стены за период с 1.04.2009 по 1.10.2012

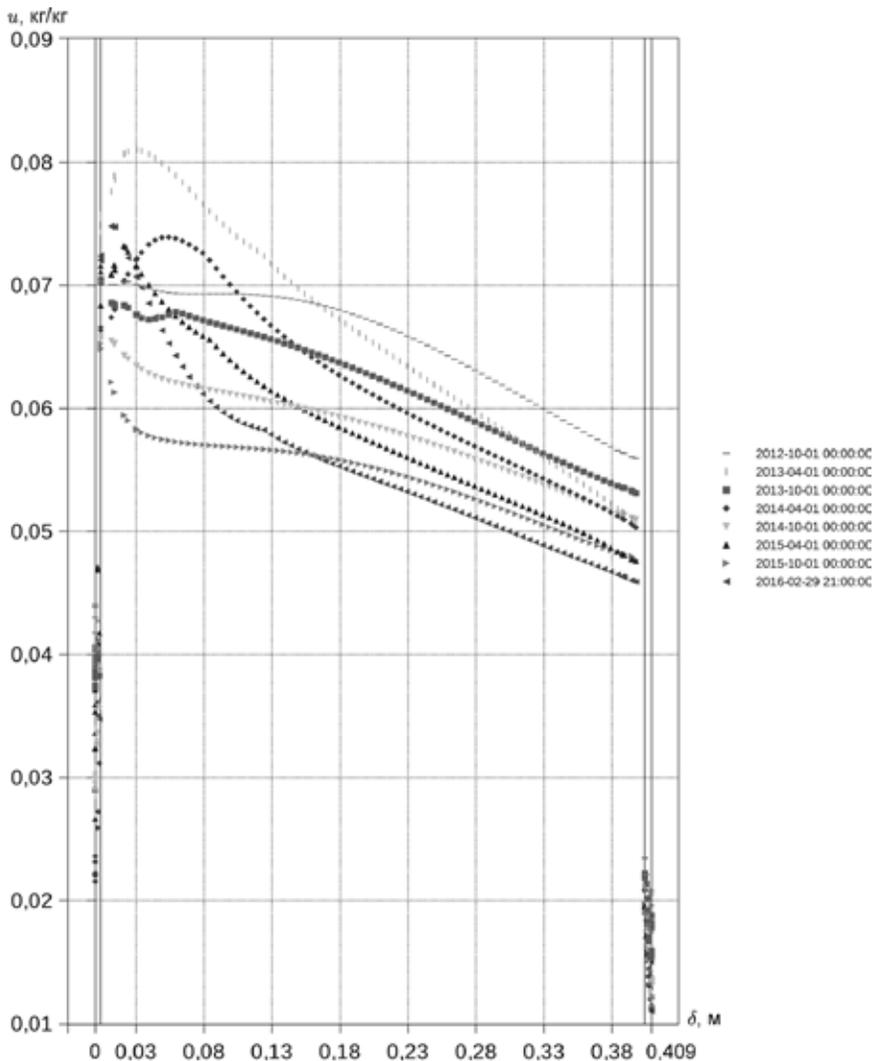


Рисунок 7. Распределение массовой влажности по сечению стены за период с 1.10.2012 по 29.02.2016

Теплофизические характеристики материалов приняты по результатам представленных исследований и [2]. На поверхностях стены заданы граничные условия III рода для теплового

и влажностного полей. Начальные влажности материалов соответствуют экспериментальному потенциалу влажности $\theta = 111 \text{ }^\circ\text{M}$: для газосиликата 35,4%, полимерно-цементного состава – 12,2% по массе. Температура в начальный момент времени постоянно по сечению стены и равна +15 °С. Параметры наружной среды приняты по климатическим данным наблюдений за период с 01.07.2006 по 29.02.2016 для г. Минска [10].

По представленным данным видно, что сушка ячеистого бетона кладки до значений, соответствующим максимальному сорбционному влагосодержанию при температуре +20 °С, равному 15,2% по массе, достигается после трех лет эксплуатации. Однако достижения значения влажностей ячеистого бетона, соответствующих расчетному массовому отношению в условиях эксплуатации по [2], равному 5%, не наблюдается по прошествии почти 10 лет эксплуатации. Среднегодовые влажности ячеистого бетона кладки представлены в таблице 1.

Наиболее интенсивно процесс сушки ячеистого бетона проходит в первые четыре года эксплуатации, после чего замедляется. Влажность штукатурных слоёв и прилегающих к ним слоёв кладки значительно меняется под воздействием переменных условий окружающей среды.

Таблица 1

Среднегодовые влажности ячеистого бетона кладки

Период	Массовая влажность, %	Период	Массовая влажность, %
01.07.2006 – 01.07.2007	28,3	01.07.2011 – 01.07.2012	7,2
01.07.2007 – 01.07.2008	19,8	01.07.2012 – 01.07.2013	6,5
01.07.2008 – 01.07.2009	13,8	01.07.2013 – 01.07.2014	6,1
01.07.2009 – 01.07.2010	9,8	01.07.2014 – 01.07.2015	5,7
01.07.2010 – 01.07.2011	8,0	01.07.2015 – 29.02.2016	5,4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты натурных обследований объектов показывают, что влажность ячеистого автоклавного бетона стен

в существующих конструкциях после 6–8 лет эксплуатации значительно превышает максимальное сорбционное влагосодержание данного материала.

2. Определены коэффициент потенциалопроводности α_n и термоградиентный коэффициент δ_w влагопереноса в автоклавном ячеистом бетоне и полимерно-цементной штукатурке при положительных и отрицательных температурах. Данные приведены в шкале массовой влажности, что позволяет использовать их в других математических моделях совместного тепловлагопереноса в ограждающих конструкциях.
3. Результаты расчётов соответствуют данным натурных наблюдений, что говорит о возможности использования разработанной программы и экспериментальной шкалы потенциала влажности для прогнозирования влажностного состояния наружных ограждений зданий, в том числе в случаях повышенной влажности материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пастушков, П. П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03/ НИИСФ. – Москва, 2013. – 389 с.
2. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43-2006*. – Введ. 01.01.07. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2015. – 47 с.
3. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия: СТБ 1117-98*. – Введ. 01.04.99. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2012. – 29 с.
4. Лыков, А. В. Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. – Минск: Издательство АН БССР, 1961. – 520 с.
5. Перехоженцев, А. Г. Вопросы теории и расчёта влажностного состояния неоднородных участков ограждающих

- конструкций здания / А. Г. Перехоженцев. – Волгоград: ВолгГАСА, 1997. – 273 с.
6. Дмитриевич, А. Д. Теплозащитные свойства строительных материалов и конструкций / А. Д. Дмитриевич. – Минск: Беларусь, 1963. – 212 с.
 7. Стерлягов, А. Н. Совместный тепло- и влагоперенос в ограждающих конструкциях зданий из газобетона: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Институт теплофизики Сибирского Отделения РАН. – Новосибирск, 2007. – 167 с.
 8. Корниенко, С. В. Исследование совместного нестационарного тепло- и влагопереноса в ограждающих конструкциях зданий (трёхмерная задача): дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01, 05.23.03 / Волгоградская государственная архитектурно-строительная академия. – Москва, 2000. – 172 с.
 9. Протасевич, А. М. Расчет температурного поля многослойных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями методом конечных элементов / А. М. Протасевич, В. В. Лешкевич // Энергоэффективность. – 2013. – № 10. – С. 16–20.
 10. Архив метеонаблюдений [Электронный ресурс] / Белгидромет. – 2016. – Режим доступа: <http://pogoda.by/zip/>. – Дата доступа: 02.03.2016.

REFERENCES

1. Pastushkov P. P. *Vliyaniye vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruksiy s naruzhnymi shtukaturnymi sloyami na energoeffektivnost teploizolyacionnykh materialov* [Influence of moisture regime of enclosing structures with external plaster on energy efficiency of heat-insulating materials]. Ph.D. thesis. Moscow: NIISF, 2013. 168 p. (rus)
2. *Stroitel'naya teplotekhnika. Stroitel'nyye normy proektirovaniya* [Building heating engineering. Building rates of the designing] : ТКР 45-2.04-43-2006*. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2015. 47 p. (rus)
3. *Bloki iz yacheistykh betonov stenovyye. Tekhnicheskkiye usloviya* [Wall blocks of cellular concrete. Specifications] : STB

- 1117-98*. Minsk: The State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2012. 29 p. (rus)
4. Lykov A. V. *Teoreticheskiye osnovy stroitelnoy teplofiziki* [Theoretical Foundations of Building Thermal Physics]. Minsk: Izdatelstvo AN BSSR, 1961. 520 p. (rus)
 5. Perehzhencev A. G. *Voprosy teorii i rascheta vlazhnostnogo sostoyaniya neodnorodnykh uchastkov ograzhdayushchikh konstrukciy zdaniya* [Questions of the theory and of the calculation of the moisture state of inhomogeneous sections of fencing structures of a building]. Volgograd: VolgGASA, 1997. 273 p. (rus)
 6. Dmitrovich A. D. *Teplozashchitnyye svoystva stroitelnykh materialov i konstrukciy* [Heat-protective properties of building materials and structures]. Minsk: «Belarus», 1963. 212 p. (rus)
 7. Sterlyagov A. N. *Sovmestnyy teplo- i vlagoperenos v ograzhdayushchikh konstrukciyakh zdaniy iz gazobetona* [Cooperative of heat and moisture transfer in fencing structures of buildings made of aerated concrete]. Ph.D. thesis. Novosibirsk: Institute of Thermophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 167 p. (rus)
 8. Korniyenko S. V. *Issledovaniye sovmestnogo nestacionarnogo teplovlagoperenosa v ograzhlayushchikh konstrukciyakh zdaniy (trekhmernaya zadacha)* [Investigation of joint non-stationary heat and moisture transport in fencing structures of buildings (three-dimensional problem)]. Ph.D. thesis. Moscow: Volgograd State Architecture and Construction Academy, 2000. 172 p. (rus)
 9. Protasevich A. M., Leshkevich V.V. *Journal of Energy Efficiency*. 2013. No. 10. pp. 16–20. (rus)
 10. *Arkhiv meteorobludeniy* [Archive of meteorological observations] [Electronic resource] / The Center of Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control and Environmental Monitoring of the Republic of Belarus. 2016. Mode of access: <http://pogoda.by/zip/>. – Date of access: 02.03.2016.

Статья поступила в редколлегию 26.09.2017.