Источник: Рыхленок, Ю.А. Особенности эксплуатации и причины снижения долговечности наружных стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения / Ю.А. Рыхленок, А.Б. Крутилин // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: М. Ф. Марковский [и др.]. – Минск, 2012. – Вып. 4. – С. 107-119.

Рыхленок Ю.А., заведующая лабораторией, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

Крутилин А.Б., заведующий сектором, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАРУЖНЫХ СТЕН ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

THE FEATURES OF EXPLOITATION AND DECREASE REASONS FOR DURABILITY OF OUTSIDE WALLS MADE OF HIGH-PRESSURE STEAM HARDENING CELL CONCRETE BRICKS

Аннотация

В статье приведен анализ результатов натурных обследований наружных стен, выполненных кладкой из ячеистобетонных блоков, имеющих повреждения, связанные с высокой начальной влажностью. Приведена методика расчета тепловлажностного режима наружных ограждений и определены критерии долговечности наружных стен отапливаемых зданий с применением изделий из ячеистого бетона.

Abstract

The paper contains the full-scale investigation results analysis of outside walls made by placing cell concrete bricks with the damages caused by initial high humidity. Heat and humidity condition design procedure for outside enclosures is given. The durability criteria for heated buildings outside walls made of cell concrete articles are determined.

ВВЕДЕНИЕ

Доля ячеистобетонных блоков, применение которых позволяет получить однослойную конструкцию наружной стены, отвечающую современным теплотехническим требованиям при приемлемой толщине и умеренном удельном расходе стенового материала, в строительном производстве постоянно возрастает. Между тем, опыт строительства и эксплуатации наружных стен из автоклавных газобетонных блоков пониженных плотностей (300—500 кг/м^3) в Республике Бела-

русь, начавшийся с момента запуска в 1997 г. завода ОАО «Забудова» по производству автоклавных газобетонных изделий на оборудовании фирмы Hebel, показал, что по-прежнему недостаточными остаются представления о долговечности конструкций наружных стен из этого материала и эффективных методах их защиты от атмосферных воздействий.

В условиях, когда основной задачей строительной отрасли в республике является уменьшение потребления энергии при эксплуатации зданий и сооружений, одним из основных направлений решения указанной задачи, наряду с уменьшением потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции, является снижение материалоемкости конструкций и увеличение сроков службы (межремонтных периодов) наружных ограждающих конструкций.

Большое значение для обеспечения долговечности имеет правильный выбор конструктивных решений с учётом особенностей климата и условий эксплуатации. В подавляющем большинстве случаев основными причинами повреждений являются деструктивные процессы, развивающиеся в результате неблагоприятного воздействия окружающей среды и связанного с ним размораживания бетона.

Данные проблемы выявлены и при эксплуатации наружных стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения. Использование в конструкциях наружных стен материалов с диаметрально противоположными свойствами, а также сокращение толщин слоев на сегодняшний день привели к образованию многочисленных дефектов в первые годы эксплуатации зданий, некоторые из которых вызваны исчерпанием ресурса морозостойкости вследствие повышенной влажности ячеистого бетона и неудачного конструктивного решения наружных стен.

ОБОБЩЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ

Анализ данных, полученных в процессе многочисленных натурных обследований, показал, что пренебрежение особенностями работы ячеистобетонных конструкций при их проектировании привело в ряде случаев к преждевременному разрушению наружных стен зданий (в основном малоэтажных, построенных в рамках Государственной Программы развития села) в течение первых 8—10 лет эксплуатации, задолго до исчерпания надлежащего срока их службы.

Например, очень распространенным видом дефектов является трещинообразование в виде сетки трещин по кладке наружных стен из ячеистобетонных блоков, появляющейся на отдельных участках фаса-

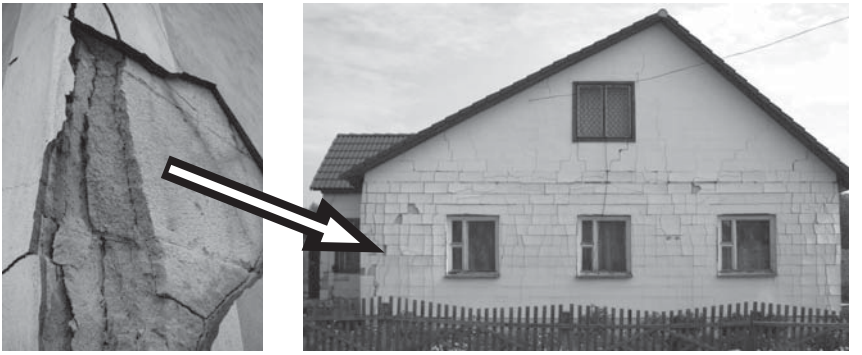

Рисунок 1. Деструкция материалов наружных стен жилого дома вследствие размораживания наружных слоев кладки из ячеистобетонных блоков с высокой влажностью

дов (в некоторых случаях достигает 80% поверхности — см. фото на рис. 1). Причиной этого явления зачастую является повышенная начальная (технологическая или приобретенная в период возведения здания) влажность кладки из ячеистобетонных блоков. Особенно часто подобные дефекты можно наблюдать в пределах кладки верхних этажей многоэтажных каркасных зданий с поэтажно опертыми стенами из ячеистобетонных блоков, длительное время находящейся незащищенной от атмосферной влаги вследствие отсутствия горизонтальной гидроизоляции парапетов и других выступающих из плоскости участков фасадных поверхностей.

Следует отметить, что ячеистый бетон, обладающий капиллярно-пористой структурой, имеет сравнительно высокую морозостойкость. При этом механизм разрушения конструкции из ячеистого бетона возможен лишь в случае, когда фактическая влажность материала превышает критическую, которая по разным источникам [1, 2 и 3] составляет 16—20% по массе при плотностях материала 400—500 кг/м^3. Однако необходимо иметь ввиду, что при наличии перепада температур между внутренней и внешней поверхностями наружной стены в отопительный период года происходит перераспределение влаги по толще стены (см. рис. 2), в результате чего влагосодержание материала достигает максимума у наружной грани. Под воздействием отрицательных температур происходит замерзание влаги, увеличение ее в объеме, что приводит к разрушению межпоровой структуры ячеистого бетона. Это явление подтверждено результатами лабораторных исследованиях проб материала, отобранных на ряде объектов, наружные слои кладки которых подверглись деструкции.

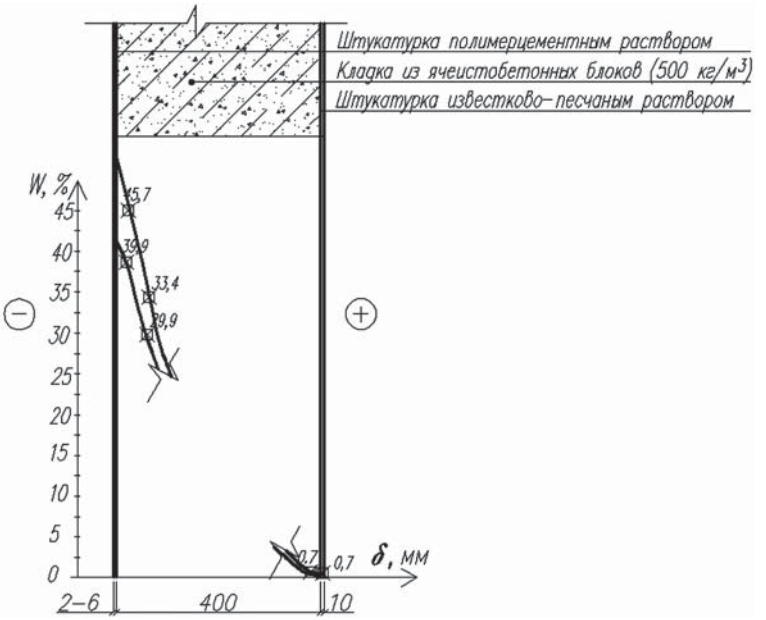

Рисунок 2. Распределение массовой влажности по толще наружной стены жилого дома в конце отопительного периода (по данным натурного обследования) (верхняя кривая — для наружной стены ориентированной на север; нижняя кривая — для наружной стены ориентированной на юг)

Повышенная влажность материалов в процессе эксплуатации может быть связана и с неудовлетворительным конструктивным решением наружных стен зданий. При обследованиях часто приходится сталкиваться с применением плотных (с низкими коэффициентами паропроницаемости) наружных отделочных слоев, способствующих накоплению влаги в стенах в процессе эксплуатации и, как следствие, к их преждевременному разрушению (см. рис. 3). Такими слоями могут быть не только штукатурные и окрасочные, но и неграмотно выполненные облицовочные слои из кирпича, декоративных блоков, плиток и т.п.

Многолетний зарубежный и отечественный опыт строительства зданий со стенами из ячеистобетонных блоков свидетельствует о том, что штукатурные слои должны наноситься после затухания усадки стен, которая длится 0,5—1 год. Это увеличивает срок сдачи объекта в эксплуатацию, однако существенно снижает затраты на последующие ремонтно-восстановительные мероприятия.

Рисунок 3. Отторжение декоративно-отделочного слоя от поверхности наружной стены после первого отопительного периода

ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Определению срока климатической долговечности наружных ограждающих конструкций, а именно — межремонтного периода эксплуатации до разрушения материала конструкции вследствие исчерпания ресурса морозостойкости, должны предшествовать решения двух задач:

— определение температурных полей по толще ограждающих конструкций за многолетний период эксплуатации;

— нахождение распределений массовой влажности по толще ограждающих конструкций за многолетний период эксплуатации.

Решению первой задачи посвящено достаточно большое количество работ, что позволяет определить распределения температур по толще наружной стены для нестационарных условий эксплуатации с переменными теплофизическими свойствами материалов.

Массовую влажность материалов слоев наружной стены зачастую принимают в виде известных постоянных величин по нормативным документам [1], [2] и др. в зависимости от условий эксплуатации ограждающих конструкций, что зачастую приводит к значительным несоответствиям [3] и не может быть использовано при прогнозировании климатической долговечности конструкций.

В общем случае распределение массовой влажности по толще материалов слоев за многолетний период эксплуатации подлежит определению и зависит от параметров наружного и внутреннего воздуха, а также от конструктивного решения наружных стен [3]. Методы расчета влажностного режима наружных ограждающих конструкций, приведенные в [1], [2] и [4], для таких условий неприемлемы.

Для многослойных наружных стен, имеющих слои с различными материалами только в направлении теплового потока, распределение массовой влажности наружных стен, с некоторыми известными допущениями, может быть определено в следующей последовательности.

Принятая конструкция наружной стены разрезается перпендикулярно тепловому потоку на *n* элементарных слоев, включая штукатурные, пароизоляционные и отделочные слои. При этом каждый слой наружной стены должен быть разрезан не менее чем на два элементарных слоя.

Распределение температуры по толще одномерного сечения конструкции для каждого временного интервала за многолетний период эксплуатации определяем по формуле:

$$t_n = t_в - \frac{t_в - t_н}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_в} + \sum_{n=1}^{m-1} R_n \right), \qquad (1)$$

где индексы *n, m* — номера текущего и последнего элементарного слоя материала расчетного сечения конструкции;

$t_в$, $t_н$ — средние за принятый временной интервал температуры внутреннего и наружного воздуха соответственно, °С;

R_T — сопротивление теплопередаче расчетного сечения ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

R_n — термическое сопротивление n-го элементарного слоя разбиения сечения ограждающей конструкции, м²·°С/Вт;

$\alpha_в$ — коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С).

Распределение парциальных давлений по толще одномерного сечения конструкции для каждого временного интервала за многолетний период эксплуатации находим по формуле:

$$e_n = e_в - \frac{e_в - e_н}{R_П} \cdot \left(R_{П.Вн.} + \sum_{n=1}^{m-1} R_{П.n} \right), \qquad (2)$$

где $e_в$, $e_н$ — средние за принятый временной интервал парциальные давления внутреннего и наружного воздуха соответственно, Па;

$R_{П}$ — сопротивление паропроницанию расчетного сечения ограждающей конструкции, м²·ч·Па/кг;

$R_{П.n}$ —сопротивление паропроницанию n-го элементарного слоя разбиения сечения ограждающей конструкции, м²·ч·Па/кг;

$R_{П.Вн.}$ — сопротивление паропроницанию внутренней поверхности ограждающей конструкции, м²·ч·Па/кг.

Распределение относительной влажности воздуха в порах материалов по толще рассматриваемого сечения ограждающей конструкции определяем по формуле (3):

$$\phi_n = \frac{\sum_{n=1}^{m} e_n}{\sum_{n=1}^{m} E_n}, \qquad (3)$$

где E_n — максимальное парциальное давление водяного пара в порах материала n-го элементарного слоя разбиения сечения ограждающей конструкции, Па.

Расчетную влажность,% по массе, n-го элементарного слоя материала при наличии в толще стены зоны конденсации находим по формуле (4):

$$W_n = \frac{G^n_{SOR} + G^n_{KON} - G^n_{SUCH}}{G^n_{SUCH}} \cdot 100, \qquad (4)$$

где G^n_{SOR} — масса n-го элементарного слоя материала части стены при сорбционном увлажнении, кг;

G^n_{KON} — масса n-го элементарного слоя материала части стены с учетом конденсационной влаги, кг;

G^n_{SUCH} — масса n-го элементарного слоя материала части стены в сухом состоянии, кг.

Массу n-го элементарного слоя 1 м² материала стены с учетом сорбционного увлажнения находим по формуле (5):

$$G^n_{SOR} = \rho_n \cdot V_n \cdot \left(1 + \frac{W^n_{SOR}}{100}\right), \qquad (5)$$

где ρ_n — плотность материала n-го элементарного слоя материала стены, кг/м³;

V_n — объем n-го элементарного слоя материала стены, м³;

W^n_{SOR} — сорбционное увлажнение материала за временной интервал при относительной влажности n-го элементарного слоя материала стены, % по массе.

Массу конденсата в n-ом элементарном слое рассчитываем по формуле (6):

$$G^n_{KON} = k_n \frac{\left(q^W_{PR} - q^W_{UT}\right) \cdot Z}{1000000} \cdot F_n, \qquad (6)$$

где k_n — коэффициент условий увлажнения n-го элементарного слоя материала стены, д.е.;

Z — расчетный период времени, час;

q^W_{PR} — удельный поток парообразной влаги, притекающий в зону конденсации, мг/(м^2·ч);

q^W_{UT} — удельный поток парообразной влаги, утекающий из зоны конденсации, мг/(м^2·ч);

F_n — площадь i-го элементарного слоя материала стены, м^2.

При наличии в толще наружных стен зон с массовыми влажностями, значительно превышающими максимальное сорбционное увлажнение материалов, расчеты для каждого временного интервала дополняются известными уравнениями движения жидкой влаги за счет механизмов влагопроводности и термовлагопроводности.

Расчетную влажность,% по массе, n-го элементарного слоя материала при отсутствии в толще стены зоны конденсации находим по формуле (7):

$$W_n = \frac{G^n_{SOR} - G^n_{SUCH}}{G^n_{SUCH}} \cdot 100. \qquad (7)$$

Для примера рассмотрим влажностный режим наружной стены толщиной $\delta = 500$ мм, выполненной кладкой из ячеистобетонных блоков ($\rho = 400$ кг/м^3) на клеевом растворе с наружной штукатуркой полимерцементным раствором ($\delta = 8$ мм, $\mu = 0{,}02$ мг/(м·ч·Па)) и внутренней известково-песчаной штукатуркой толщиной $\delta = 10$ мм.

Начальные теплофизические характеристики материалов, принятые в расчетах, приведены в таблице 1.

Температура внутреннего воздуха в осенний, зимний и весенний периоды года принята постоянная и равная $t_в = +20$ °С, относительная влажность — $\varphi = 55\%$. Температура внутреннего воздуха в летний период года принята равной $t_в = +22$ °С, относительная влажность — $\varphi = 60\%$.

Таблица 1

Наименование материала	Начальная массовая влажность,%	Начальный коэффициент теплопроводности, соответствующий принятой влажности материала, Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости материала, мг/(м·ч·Па)
Известково-песчаный раствор	2,0	0,70	0,12
Ячеистобетонные блоки	4,0	0,12	0,23
Полимерцементный раствор	2,0	0,70	0,02

Параметры наружного воздуха приняты по СНБ 2.04.02-2000 [5].

Анализ влажностного режима наружной стены, начиная с августа 1-го года эксплуатации, помесячно, показал, что с ноября по март 2-го года в толще стены имеется зона конденсации.

Результаты расчетов показали, что наружная стена выходит на квазистационарный влажностный режим во второй год эксплуатации. Распределения массовой влажности для наиболее характерных периодов года показаны на рис. 4—8. Средние влажности ячеистого бетона, помесячно, приведены в табл. 2, сопротивление теплопередаче наружной стены — в табл. 3.

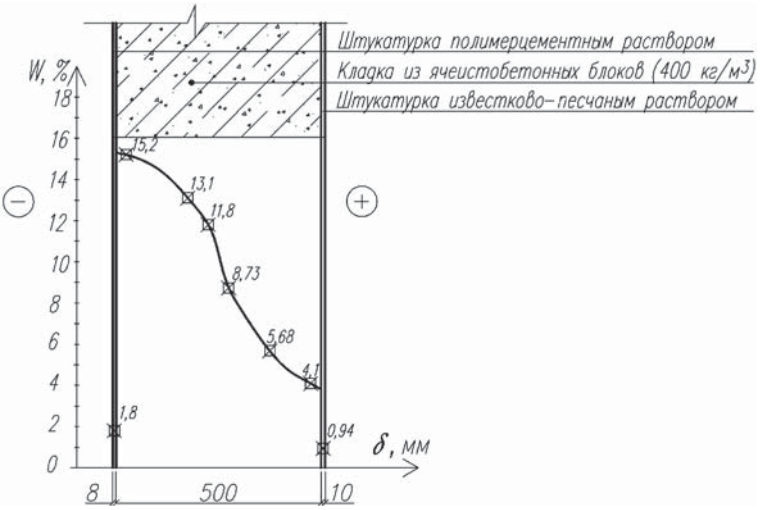

Рисунок 4. Распределение массовой влажности по толще наружной стены (ноябрь, год 1-й)

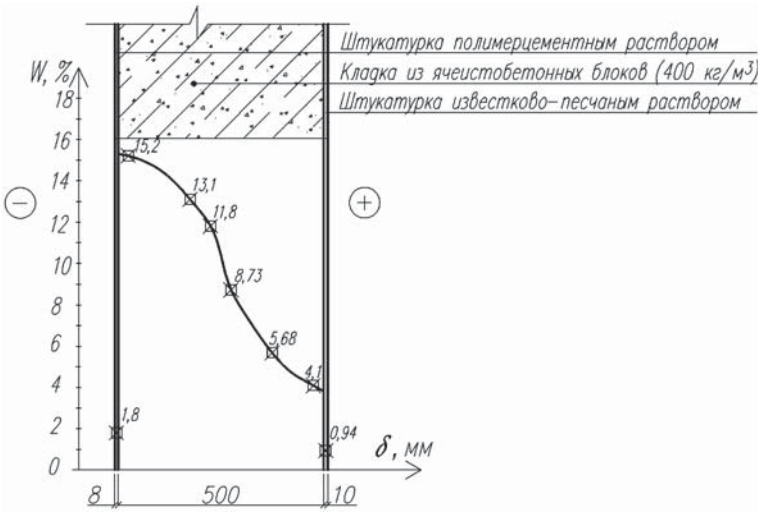

Рисунок 5. Распределение массовой влажности по толще наружной стены (январь, год 2-й)

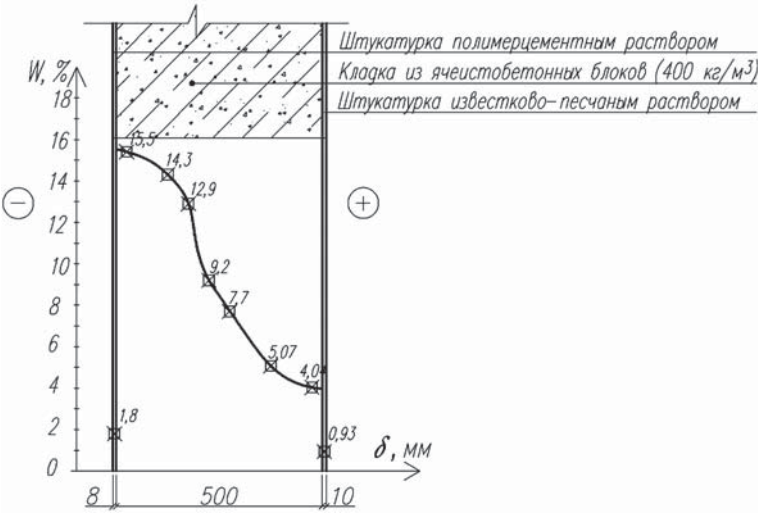

Рисунок 6. Распределение массовой влажности по толще наружной стены (март, год 2-й)

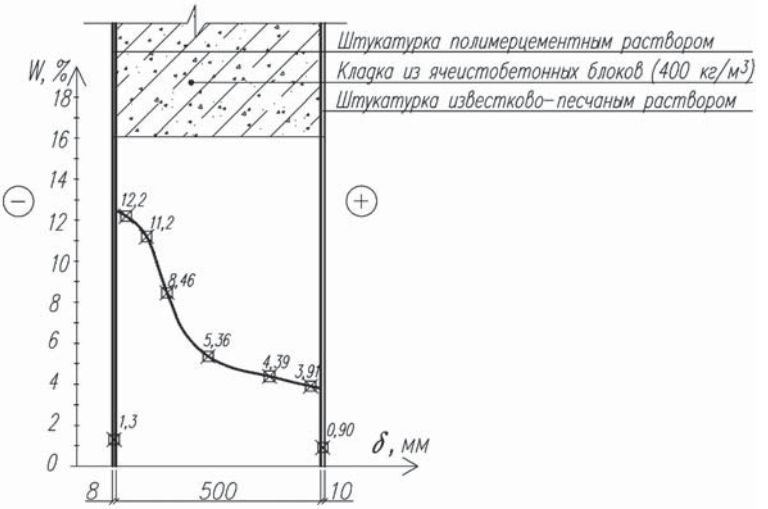

Рисунок 7. Распределение массовой влажности по толще наружной стены (май, год 2-й)

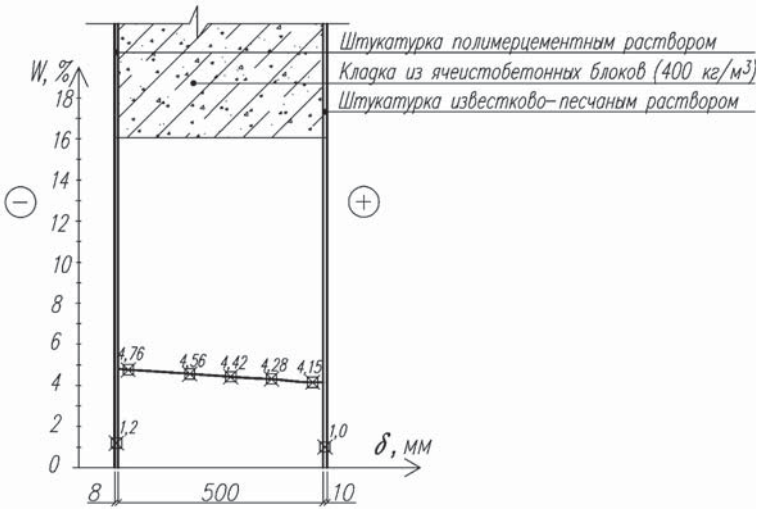

Рисунок 8. Распределение массовой влажности по толще наружной стены (июль, год 2-й)

Таблица 2

Средняя, по толщине, массовая влажность ячеистого бетона,%									
исходная	**ноябрь, 1 год**	**декабрь, 1 год**	**январь, 2 год**	**февраль, 2 год**	**март, 2 год**	**апрель, 2 год**	**май, 2 год**	**июнь, 2 год**	**июль, 2 год**
4,0	6,8	8,5	9,8	10,3	9,4	8,2	6,7	4,7	4,5

Таблица 3

Сопротивление теплопередаче по наружной стены, м²·°С/Вт, на конец месяца									
исходный	**ноябрь, 1 год**	**декабрь, 1 год**	**январь, 2 год**	**февраль, 2 год**	**март, 2 год**	**апрель, 2 год**	**май, 2 год**	**июнь, 2 год**	**июль, 2 год**
4,35	3,78	3,57	3,39	3,33	3,43	3,59	3,81	4,13	4,16

По результатам расчетов получено, что, несмотря на систематическую конденсацию водяного пара в толще стены в зимние месяцы, накопления влаги за многолетний период в толще ячеистого бетона не происходит.

Наибольшая средняя влажность слоя ячеистого бетона наблюдается в конце февраля и составляет $W \approx 10{,}3\%$ по массе, что значительно выше величины расчетного массового отношения для условий эксплуатации «Б» $W_Б = 5\%$ по ТКП 45-2.04-43-2006 [1]. Минимальный уровень теплозащиты по «глади» стены (см. таблицу 3) приходится на конец февраля; сопротивление теплопередаче на данный период составляет $R_T = 3{,}33$ м²·°С/Вт, что более чем на 20% ниже принятой величины для исходных условий и более чем на 15% ниже величины, рассчитанной по ТКП 45-2.04-43-2006 [1] как для условий эксплуатации «Б».

Пик массовой влажности приходится на элементарные слои ячеистого бетона, примыкающие к наружной полимерцементной штукатурке. Очевидно, что в данных слоях ячеистого бетона будут происходить более интенсивные микро-разрушения материала при образовании льда в порах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов позволяет наметить основные пути увеличения климатической долговечности наружных стен из ячеистобетонных блоков:

— применение для наружной отделки штукатурных составов, имеющих коэффициенты паропроницаемости, сопоставимые с коэффициентом паропроницаемости ячеистого бетона, или устройство вентилируемых систем фасадной отделки, способствующих удалению излишков влаги из конструкции стены;

— отсрочка работ по наружному оштукатуриванию фасадных поверхностей на 0,5—1 год после возведения кладки с целью протекания процессов сушки и основных усадочных деформаций до нанесения отделки;

— сушка стеновых изделий до выполнения кладки, защита горизонтальных поверхностей стен в период возведения здания, жесткий инструментальный контроль влажности кладки перед отделкой техническими службами производителя работ на объекте.

С целью определения массовой влажности по толще наружных ограждающих конструкций и прогнозирования их долговечности возможно использование приведенной выше методики тепло-влажностного расчета.

Список цитированных источников

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. — Введ. 01.07.07. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2007. — 32 с.
2. Тепловая защита зданий: СНиП 23-02-2003. — Введ. 01.10.03. — М: ГОССТРОЙ РОССИИ, 2004.
3. *Крутилин, А.Б.* К вопросу определения расчетных массовых отношений влаги в материалах и уровня теплозащиты наружных стен, выполняемых кладкой из ячеистобетонных блоков / А.Б. Крутилин // Современное производство автоклавного газобетона: сб. докладов науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 16 — 18 ноября 2011 г. / Под ред. науч.-техн. совета Национальной Ассоциации Производителей Автоклавного Газобетона. — СПб, 2011. — С. 96 — 103.
4. Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-113-2009. — Введ. 01.01.10, — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. — 37 с.
5. Строительная климатология. СНБ 2.04.02-2000, — Введ. 01.07.01. — Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2001. — 35 с.

Получено 27.09.12 г.