

Крутилин Антон Борисович, заведующий лабораторией,
РУП «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь)
Лешкевич Владимир Владимирович, научный сотрудник,
УО «Белорусский национальный технический
университет», г. Минск (Беларусь)
Рыхленок Юлия Анатольевна, заведующая научно-
исследовательским отделом, РУП «Институт БелНИИС»,
г. Минск (Беларусь)

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКЛАВНЫХ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ НИЗКИХ ПЛОТНОСТЕЙ

SOME RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF AUTOCLAVED POROUS LOW-DENSITY CONCRETE THERMAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS

АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований теплофизических характеристик автоклавных ячеистых бетонов плотностью 400 и 500 кг/м³. Предложен новый способ определения коэффициентов тепло- влагопроводности. Установлено, что у наружных стен здания с начальными влажностями ячеистого бетона более 30% в зимний период года возможно перераспределение влаги со значительным увеличением влажностей материалов у наружной поверхности.

ABSTRACT

The article shows some results of experimental studies of thermal and physical characteristics of autoclaved porous concrete with density equal to 400 and 500 kg/m³. The new type of hydrothermal conductivity determination is shown. It is determined that exterior walls with initial humidity of concrete equal to 30% might show redistribution and considerable increase of moisture on the walls exterior surface.

ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного использования теплозащитного потенциала строительных материалов необходимо прежде всего такое конструктивное исполнение наружных стен, при котором они в течение каждого

годового отопительного периода будут иметь минимальные влажности и, соответственно, минимальные коэффициенты теплопроводности. Однако сокращение сроков строительства зданий приводит к возведению наружных стен с материалами, имеющими технологическую и строительную влажность. Во многих случаях данные влажности материалов значительно превышают их показатели максимального сорбционного увлажнения, а также расчетные массовые отношения влаги, принимаемые при теплотехнических расчетах по ТКП 45-2.04-43 [1]. При таких условиях возникают несколько негативных моментов для ограждающих конструкций:

- коэффициенты теплопроводности материалов будут повышенными, а сопротивление теплопередаче, являющееся основным показателем теплозащиты наружных ограждающих конструкций, — пониженным, что может привести к недотопу помещений и нарушению параметров микроклимата;
- «пик» максимальной влажности материалов будет расположен у наружных защитных или отделочных слоев.

Если недотопы помещений в первые годы эксплуатации зданий, в целом, рядом способов устранимы, то значительное увеличение влажностей материалов у наружной поверхности стен сказывается весьма негативно для их дальнейшей эксплуатации. Так, «тонкие» слои материалов у наружной поверхности стен в процессе эксплуатации в холодный период года в определенной степени испытывают переходы через 0°C и претерпевают микроразрушения порового пространства за счет исчерпания ресурса морозостойкости.

Все вышеперечисленное характерно для массово используемых наружных стен, выполняемых кладкой из ячеистобетонных блоков. Блоки имеют повышенную технологическую влажность; повышенная влажность ячеистого бетона характерна и при эксплуатации наружных стен зданий в первые годы после возведения. Для таких условий с целью прогнозирования влажностного режима, а также определения долговечности наружных стен зданий, необходимо иметь теплофизические характеристики данного материала, в том числе и определяющие движение жидкой влаги в изотермических и неизотермических условиях.

Влияние влажности на коэффициент теплопроводности ячеистого бетона

Для расчетов тепловлажностного режима наружных стен необходимы точные данные о зависимости теплопроводности от влажности не

только при положительных температурах образцов ячеистого бетона, но и в области отрицательных температур, т.к. именно они используются при расчетах температурного режима «промерзающей» части наружной стены.

Несмотря на то, что вопрос зависимости теплопроводности от влажности считается достаточно изученным (публикации Г. Бове [2], Кауфмана Б.Н. [3], Кривицкого М.Я. [4], Франчука А.У. [5], Виноградского В.М. [6] и др. авторов), данные для ячеистого бетона низких плотностей ($\rho = 400$ и 500 кг/м^3) в области отрицательных температур ограничены.

Еще более ограничены данные по влажностям материалов, при которых в их порах образуется лед. Известно, что в области температур наружного воздуха, соответствующих условиям эксплуатации ограждающих конструкций, вода в порах материалов всегда содержится в том или ином количестве, и только часть ее переходит в лед при температуре ниже $t_n = 0^\circ\text{C}$. Если свободная несвязанная вода при нормальном атмосферном давлении имеет температуру заморзания $t_n \approx 0^\circ\text{C}$, то поровая (пленочная) вода материалов, находящаяся под воздействием поверхностных сил, имеет более низкую температуру заморзания: при определенной влажности материала вода в его порах в области отрицательных температур может вообще не переходить в лед.

Лабораторные исследования влияния влажности на коэффициент теплопроводности ячеистого бетона проводили на стандартных образцах (предоставлены ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова», далее – тип «З»). При этом варьировались:

- плотность образцов ($\rho = 400$ и 500 кг/м^3);
- влажность образцов (близкая к 5%, 10%, 20%, 30%, 40% и 50% по массе).

Образцы увлажняли водой до определенной влажности и упаковывали со всех сторон в полиэтиленовую пленку. В таком состоянии образцы выдерживали в условиях, близких к изотермическим для равномерного перераспределения влаги по их толще. После выдержки в изотермических условиях образцы испытывали в установке для измерения теплопроводности типа «NETZSCH HFM 436 Lambda» в БНТУ. Экспериментальные данные систематизированы и приведены на рисунках 1 и 2.

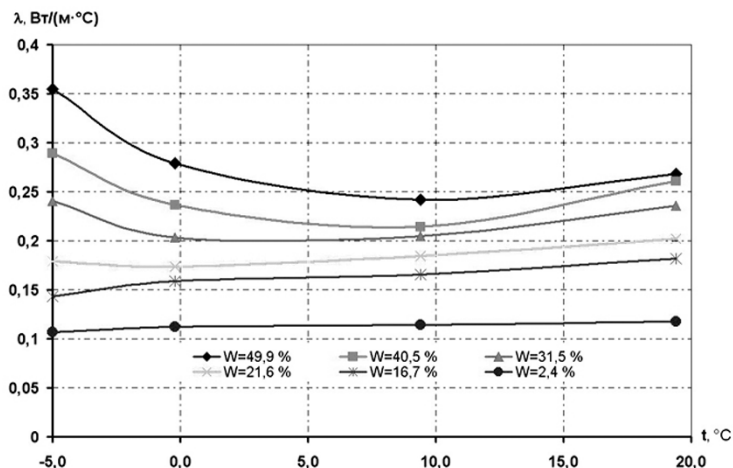


Рисунок 1. Зависимость коэффициента теплопроводности ячеистого бетона ($\rho = 400 \text{ кг/м}^3$) от температуры и массовой влажности

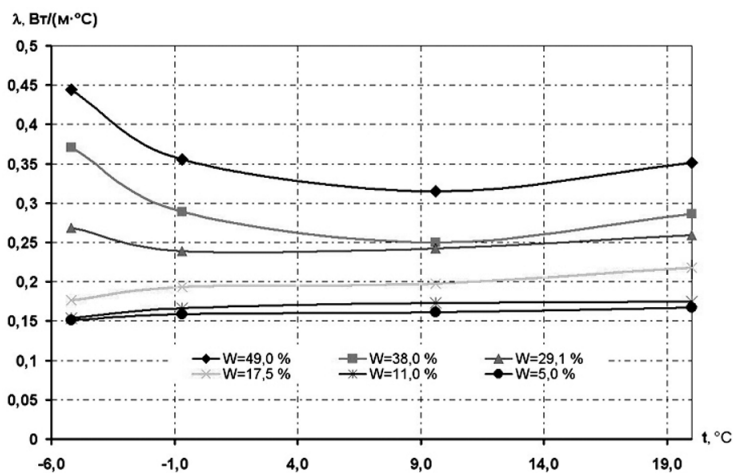


Рисунок 2. Зависимость коэффициента теплопроводности ячеистого бетона ($\rho = 500 \text{ кг/м}^3$) от температуры и массовой влажности

Для отрицательных температур увеличение коэффициента теплопроводности происходит при массовой влажности ячеистого бетона более $W = 20 \%$ для плотности $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$ и более $W = 15 \%$ — для плотности $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$, что связано с началом образования льда в по-

рах материалов. В зависимости от температуры образцов только часть жидкой влаги переходит в лед, при этом начало образования льда происходит при температуре $t_{обр} \approx -2,0^\circ\text{C}$.

С понижением температуры коэффициенты теплопроводности ячеистого бетона в зависимости от влажности могут как увеличиваться, так и уменьшаться. Это позволяет определить граничные влажности, при которых для отрицательных температур в порах материалов лед не образуется или его количество незначительно.

Следует отметить, что полученные экспериментальные данные отличаются от данных, приведенных в работах [2] – [7].

Влияние влажности на коэффициент изотермической влагопроводности ячеистого бетона

Исследования влияния влажности на коэффициенты изотермической влагопроводности ячеистого бетона выполняли на образцах типа «З» плотностью $\rho = 400$ и 500 кг/м^3 .

Образцы увлажняли водой до влажности, близкой к 20, 35, 45 и 60 % по массе, и упаковывали со всех сторон в полиэтиленовую пленку. В таком состоянии образцы выдерживали в условиях, близких к изотермическим, для равномерного перераспределения влаги по их толще. Температуры образцов для проведения эксперимента были приняты $t = +20^\circ\text{C}$ и $t = -5^\circ\text{C}$.

После выдержки в изотермических условиях образцы стыковали друг с другом с влажностями, близкими по показателям, и со всех сторон влагоизолировали полиэтиленовой пленкой. После определенной временной выдержки в изотермических условиях при принятых температурах образцов, колонки периодически разбирали, образцы взвешивали и собирали в том же порядке заново.

Коэффициенты изотермической влагопроводности для различных температур определяли по формуле (1):

$$\beta_w = \frac{G_w}{\frac{dw}{dx}}, \quad (1)$$

где: G_w — количество влаги, проходящей через 1 м^2 площади в 1 час, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

dw/dx — перепад массовой влажности по длине образца, $\%/м$.

Зависимости коэффициентов изотермической влагонепроводности от влажности для различных температур образцов приведены на рисунках 3 и 4.

Результаты экспериментальных исследований изотермической влагонепроводности ячеистого бетона показали, что при отрицательных температурах также имеется перемещение влаги вследствие наличия незамерзшей воды в порах материалов.

Для области положительных температур перемещение воды в образцах наблюдается при влажностях $W > 17\%$ по массе для ячеистого бетона плотности $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ и при $W > 25\%$ по массе для ячеистого бетона плотности $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$. Для области отрицательных температур перемещение воды в образцах наблюдается при влажностях $W > 35\%$ по массе для ячеистого бетона плотности $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ и $W > 45\%$ по массе для ячеистого бетона плотности $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$. Результаты эксперимента показывают значительное влияние температуры и плотности материала на коэффициент изотермической влагонепроводности.

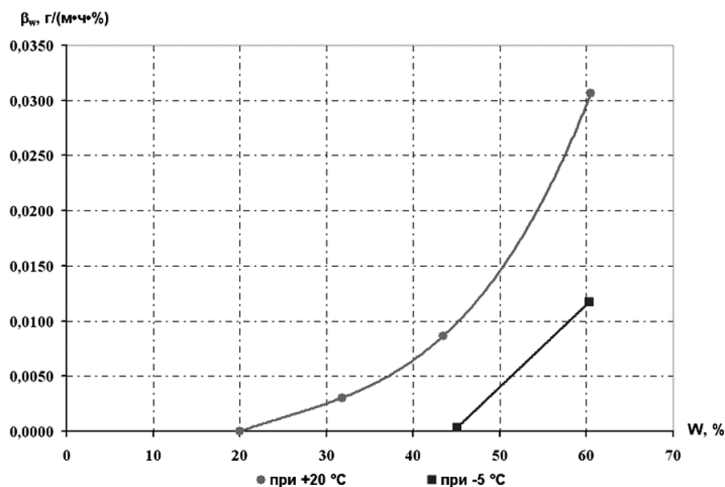


Рисунок 3. Коэффициенты изотермической влагонепроводности ячеистого бетона ($\rho = 400 \text{ кг/м}^3$) в зависимости от влажности

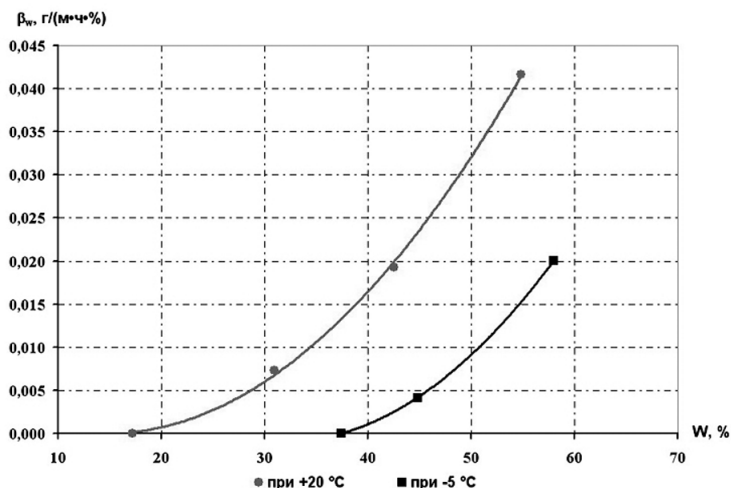


Рисунок 4. Коэффициенты изотермической влаговодности ячеистого бетона ($\rho = 500 \text{ кг/м}^3$) в зависимости от влажности

Определение коэффициентов термовлаговодности в образцах ячеистого бетона

При эксплуатации наружных стен с повышенной влажностью ячеистого бетона по сечению стены движение влаги возможно также за счет механизма термовлаговодности, т.е. при наличии градиента температуры по сечению стены, вызывая сдвиг максимальной влажности к ее наружной поверхности.

Впервые данный механизм движения влаги установил Лыков А.В. [8] в середине прошлого века. Исследования по изучению этого механизма велись, преимущественно, в области сушки материалов вследствие наличия при протекании данных процессов значительных градиентов температуры. Определение термоградиентных коэффициентов строительных материалов производилось преимущественно советскими учеными до конца 1990-ых годов. Данные по их величинам, а также исследования их зависимостей для ячеистых бетонов низких плотностей ограничены, а для отрицательных температур образцов — не найдены.

Предлагались различные способы определения термоградиентных коэффициентов, обзор которых приведен в [9]. Выделяют стационарные методы, заключающиеся в выдержке влагоизолированного образца

между двумя термостатами до установления момента стационарного температурного и влажностного состояния, после чего по кривым распределения влагосодержания и температуры по длине образца рассчитывают термоградиентный коэффициент. Недостаток стационарных методов — длительность проведения испытаний, при которых постоянно необходимо производить монтаж и демонтаж образцов. Нестационарные методы определения термоградиентного коэффициента, как правило, требуют специально разработанного оборудования, но проводятся значительно быстрее. Разработанные методы использовались, преимущественно, в области положительных температур образцов.

Результаты исследований авторов предполагают различные модели для прогнозирования влажностного режима ограждающих конструкций и, соответственно, различные способы для определения коэффициентов переноса влаги через (в) капиллярно-пористые тела, что ограничивает использование данных методик.

При раздельном учете основных механизмов переноса влаги в модели прогнозирования влажностного режима наружных ограждающих конструкций предлагается вместо термоградиентного коэффициента определять коэффициент термовлагопроводности (2) (по аналогии с коэффициентом теплопроводности):

$$\beta_t = \frac{G_t}{\frac{dt}{dx}}, \quad (2)$$

где: G_t — количество влаги, проходящей через 1 м² площади в 1 час за счет термовлагопроводности, г/(м²·ч);

dt/dx — перепад температуры по длине образца, °/м.

Авторами проведены эксперименты на состыкованных образцах (разрезная колонка) с разными, но близкими по величинам, массовыми влажностями. Для создания «теплой» и «холодной» поверхностей использована установка для измерения теплопроводности типа «NETZSCH HFM 436 Lambda» в БНТУ (рисунок 5).

Перед стыковкой образцы ячеистого бетона с различными влажностями упаковывали в полиэтиленовую пленку и выдерживали не менее 2-х недель в условиях, близких к изотермическим. После выдержки составляли колонки, которые со всех сторон влагонизолировали полиэтиленовой пленкой и устанавливали в обойму из экструзионного полистирола. Колонки в обойме устанавливали так, чтобы образцы с большей влажностью примыкали к «теплой» плите установки, в с меньшей влажностью — к холодной. Таким образом обеспечивалось

движение влаги основными механизмами переноса в одном направлении — от образцов, примыкающих к «теплой» плите, к образцам у «холодной» плиты.



Рисунок 5. Общий вид образцов и экспериментальной установки для определения коэффициентов термовлагопроводности

Колонки выдерживали при перепаде температуры между плитами установки примерно в $\Delta t = 15^\circ\text{C}$, что близко к условиям эксплуатации наружных стен. При проведении эксперимента колонки периодически разбирали, образцы взвешивали и колонки собирали заново для определения установившегося потока влаги между образцами. Время между взвешиваниями составляло не менее суток, а общее время эксперимента — не менее трех суток.

Определение перепадов температур по длине разрезной колонки выполнялось расчетным методом последовательного приближения по известным массовым влажностям образцов и известным температурам на «теплой» и «холодной» плитах прибора. Коэффициенты теплопроводности образцов ячеистого бетона колонки принимали в зависимости от их средней температуры и влажности (рисунки 1 и 2).

Результаты экспериментальных исследований зависимостей коэффициентов термовлагопроводности ячеистого бетона от влажности при средней температуре образцов $t \approx -5^\circ\text{C}$ приведены на рисунках 6 и 7.

Из экспериментальных зависимостей видно, что для обеих плотностей материала значительное увеличение коэффициентов термовлагопроводности происходит при влажностях, превышающих 30 % по массе. При влажностях менее 20 % поток влаги через единицу площади материала сопоставим с потоком водяного пара для условий

выполнения эксперимента. При влажностях материала более 40 % по массе коэффициенты термовлагопроводности на порядок превышают коэффициенты изотермической влагопроводности.

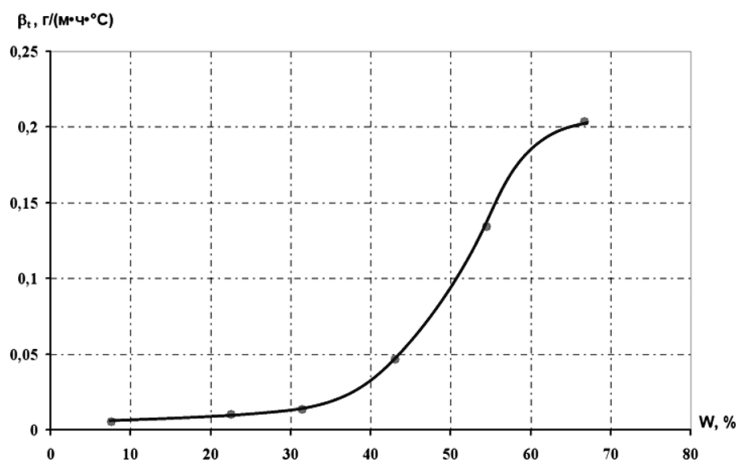


Рисунок 6. Коэффициенты термовлагопроводности ячеистого бетона ($\rho = 400 \text{ кг/м}^3$) в зависимости от влажности при средней температуре образцов $t \approx -5^\circ\text{C}$

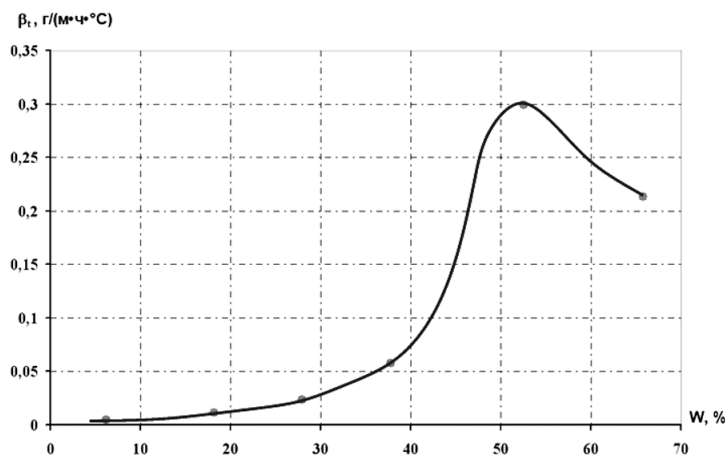


Рисунок 7. Коэффициенты термовлагопроводности ячеистого бетона ($\rho = 500 \text{ кг/м}^3$) в зависимости от влажности при средней температуре образцов $t \approx -5^\circ\text{C}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментальными исследованиями установлено влияние температуры и влажности на коэффициент теплопроводности ячеистого бетона типа «З» плотностей 400 и 500 кг/м³. На основании полученных данных предлагается определять граничные влажности, при которых для отрицательных температур лед в порах материалов не образуется или его количество незначительно.
2. Установлено, что при отрицательных температурах образцов ячеистого бетона с влажностями более 30 % по массе одним из основных механизмов перемещения влаги является термовлагопроводность. В реальных условиях эксплуатации наружных стен здания, выполненных кладкой из ячеистобетонных блоков с влажностями более 30 %, в зимний период года возможно значительное увеличение влажностей материалов у наружных защитно-отделочных слоев и снижение долговечности за счет более интенсивного истощения ресурса морозостойкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования». Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Минск, 2007.
2. Бове, Г. Автоклавный ячеистый бетон/ Пер. с англ. Г. Бове и др. — М.: Стройиздат, 1981.
3. Кауфман, Б. Н. Теплопроводность строительных материалов. — М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955.
4. Кривицкий, М. Я. Ячеистые бетоны. Технология, свойства и конструкции. — М.: Издательство литературы по строительству, 1972.
5. Франчук, А. У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов / Научно-исследовательский институт строительной физики Госстроя СССР. — М., 1969.
6. Виноградский, В. М. и др. Теплопроводность силикатных ячеистых бетонов при низких отрицательных температурах // Строительная теплофизика/ Под редакцией В.А. Дроздова и др. / Научно-исследовательский институт строительной физики. — М., 1979.

7. Перехоженцев, А.Г. Вопросы теории и расчета влажностного состояния неоднородных участков ограждающих конструкций зданий / Волгоградская государственная архитектурно-строительная академия. Волгоград, 1997.
8. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. — Минск: Издательство АН БССР, 1961. — 519 с.
9. Дмитривич, А. Д. Теплозащитные свойства строительных материалов и конструкций / А.Д. Дмитривич. — Минск: Беларусь, 1963. — 212 с.

Статья поступила в редколлегию 25.11.2014