

УДК 691.421.43

А. В. АФОНИН

Брестский государственный технический университет

В. И. НИКИТИН

Белостокский технический университет, Польша

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕНОСА ВЛАГИ В СТЕНОВОЙ КЕРАМИКЕ

По результатам испытания образцов керамического материала предложена методика определения коэффициента влагопроводности. Представлены полученные экспериментальные данные изменения массы образца от времени и результаты расчетов коэффициента влагопроводности керамического материала в зависимости от весовой влажности, распределения весовой влажности по длине образца в зависимости от времени, функция распределения объема пор по радиусам.

Под воздействием окружающей среды в капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций зданий протекают нестационарные процессы переноса тепла и влаги. Недостаточный уровень знаний об этих явлениях на практике может приводить к ошибкам в принимаемых инженерных решениях. В результате при эксплуатации зданий в материалах ограждений накапливается значительное количество влаги. Как показано в работе [1], эксплуатационная влажность в стене из керамического кирпича превышает максимальное сорбционное увлажнение в несколько раз. По данным работы [2], в кирпичных стенах старинного здания независимо от времени года, высоты отбора проб и ориентации стен по сторонам света влажность материала значительно превышала допустимую и достигала 16 % по массе. Накопившаяся в материалах ограждений влага интенсифицирует их деградацию и тем самым снижает долговечность конструкций.

К настоящему времени для описания взаимосвязанных нестационарных процессов переноса тепла и влаги в капиллярно-пористых материалах ограждений разработано немало математических моделей различной сложности. При практической реализации этих моделей для каждого рассматриваемого материала необходимо знать значения коэффициентов, характеризующих материал в отношении переноса влаги. Одним из таких коэффициентов является коэффициент влагопроводности, который зависит от вида материала, его поровой структуры, влагосодержания и температуры.

Обычно этот коэффициент определяется экспериментальным путем по различным методикам, которые обладают недостатками, приводящими к ошибкам в полученных данных.

Так, по методике Р. Е. Брилинга [3] необходимо распиливать призматический образец на несколько равных частей по длине. В процессе распиливания испаряется некоторое количество влаги, что ведет к снижению влагосодержания взвешиваемых частей образца.

В методике моментов, предложенной Гаффнером [4, 5], необходимо увлажнить противоположные грани образца до заданных близких друг к другу значений влажности, что не просто осуществить на практике.

Предлагаемая в данной работе методика лишена вышеперечисленных недостатков, и ее экспериментальная часть состоит лишь в получении данных о кинетике одномерного водопоглощения.

Для получения данных о кинетике одномерного водопоглощения были изготовлены пять образцов керамического материала в виде прямоугольного параллелепипеда с размерами 5×5×23 см, сформованного пластическим методом из сырьевой смеси, состоящей из 85 % тонкодисперсной глинистой породы по массе сухого вещества с основным глинообразующим минералом иллитовой группы и 15 % кварцевого песка. Сформованные образцы обжигались в электрической печи со скоростью нагрева и охлаждения 2°C/мин при максимальной температуре 900 °C. Обожженные образцы имели плотность в диапазоне от 1750 до 1810 кг/м³. Все их грани, кроме нижней, были покрыты водонепроницаемой замазкой (парафином). Вертикально установленный образец нижней незащищенной гранью соприкасался с поверхностью воды и с помощью весов отслеживалось изменение его массы во времени $m(t)$.

При математическом описании одномерного движения влаги в капиллярно-пористом материале пренебрегали сорбционным увлажнением и действием силы тяжести на процесс перемещения влаги в образце.

Нестационарное одномерное перемещение влаги описывается уравнением диффузии вида [3, 6]:

$$\rho_0 \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta(\omega) \frac{\partial \omega}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где ρ_0 – объемная масса материала; $\omega(x, t)$ – весовая влажность, зависящая от координаты x и времени t ; $\beta(\omega)$ – коэффициент влагопроводности материала.

Начальное условие предполагает, что образец в начальный момент времени (при $t = 0$) был сухим:

$$\omega(x, 0) = 0, \quad 0 < x \leq L, \quad (2)$$

где L – длина образца.

Граничные условия означают, что на погруженной в воду нижней грани образца влажность максимальна, а через находящуюся в воздухе верхнюю грань влага не протекает:

$$\omega(0, t) = \omega_{\max}, \quad t \geq 0, \quad (3)$$

где ω_{\max} – максимальная весовая влажность материала;

$$\beta(\omega) \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0; \quad x = L; \quad t \geq 0. \quad (4)$$

Предполагается известным изменение массы образца со временем:

$$m(t) = m_0 + \rho_0 S \int_0^L \omega(x, t) dx, \quad (5)$$

где m_0 – начальная масса образца при $t = 0$; S – площадь поперечного сечения образца.

Для оценки коэффициента влагопроводности была составлена компьютерная программа, в которой значения $\beta(\omega)$ задавались набором из нескольких точек и затем интерполировались кубическими сплайнами. Программа решала квазилинейное дифференциальное уравнение диффузии (1) с начальными и граничными условиями (2)–(4) по чисто неявной схеме. Полученное решение $\omega(x, t)$ интегрировалось согласно (5).

Таким образом, появилась возможность, изменяя значения $\beta(\omega)$ и решая для них уравнение (1), наблюдать, как изменяются значения $m(t)$, и сравнивать их с экспериментальными данными. Путем численного экспериментирования удалось довольно быстро добиться удовлетворительного совпадения вычисленных значений $m(t)$ с полученными опытным путем данными. На рисунках 1, 2 изображены результаты проведенного эксперимента и вычислений (кружочками обозначены опытные данные). Характер кривой на рисунке 2 не противоречит сложившимся представлениям о зависимости коэффициента влагопроводности материала от его влагосодержания. На рисунке 3 изображена полученная в результате расчетов зависимость $\omega(x, t)$, которая вполне правдоподобно отражает кинетику водонасыщения гидрофильного капиллярно-пористого материала. Для всех пяти образцов наблюдалась практически одинаковая количественная и качественная картина.

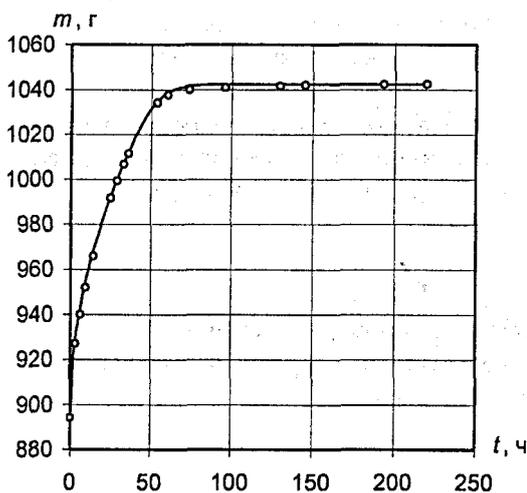


Рисунок 1 – Изменение массы образца со временем

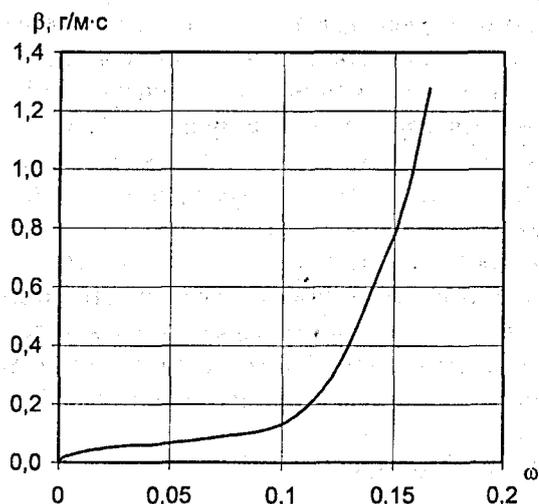


Рисунок 2 – Коэффициент влагопроводности керамического материала в зависимости от весовой влажности, полученный в результате вычислений

Основной определяемой эмпирически числовой характеристикой структуры капиллярно-пористого материала является функция распределения объема пор по радиусам [6]. Методы ее измерения требуют дорогостоящей аппаратуры и также не лишены недостатков. Поэтому целесообразно развивать альтернативные методы оценки функции распределения объема пор по радиусам, результаты одного из которых рассмотрены в данной работе.

В работах [7, 8] была установлена зависимость коэффициента влагопроводности от дифференциальной функции распределения объема пор по радиусам $f_v(r)$, основанная на законе фильтрации Дарси и уравнении Козени для коэффициента проницаемости.

Благодаря некоторым особенностям этой зависимости появилась возможность реализации эффективного алгоритма восстановления функции распределения объема пор по радиусам по известным значениям коэффициента влагопроводности материала.

Полученная функция распределения объема пор по радиусам для рассмотренного керамического материала изображена на рисунке 4. При расчетах принято $\cos \varphi = 0,15$. Из рисунка 4 следует, что основное количество пор имеет радиус от 0,2 до 0,6 мкм, что практически совпадает с данными, приведенными в работах [1, 9].

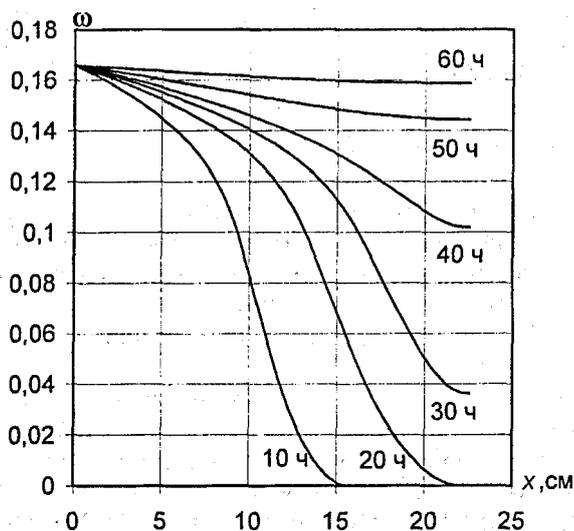


Рисунок 3 – Вычисленное распределение весовой влажности по длине образца в зависимости от времени

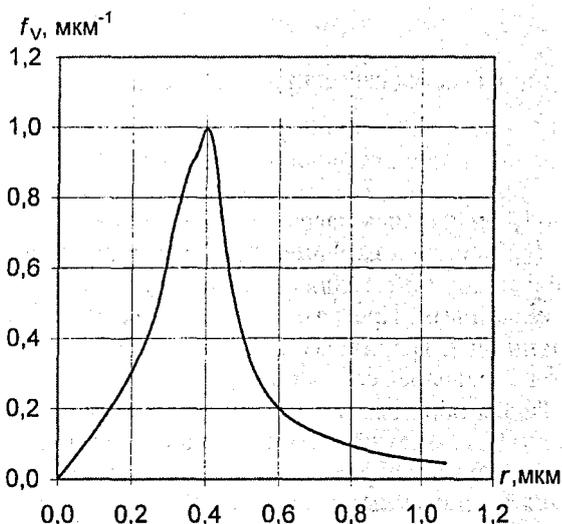


Рисунок 4 – Полученная в результате вычислений функция распределения объема пор по радиусам

Предлагаемая методика оценки коэффициента влагопроводности и распределения объема пор по радиусам обладает следующими преимуществами:

- для проведения эксперимента не требуется специальная аппаратура, кроме весов;
- при использовании одного образца имеется возможность получить гораздо большее количество опытных точек, чем при его распиливании;
- методика является неразрушающей, что позволяет испытывать один и тот же образец несколько раз, например, до и после многократного воздействия влаги и/или отрицательных температур, и отслеживать влияние этих факторов на структуру материала, а также на характер изменения коэффициента влагопроводности.

К недостаткам методики следует отнести:

- высокую математическую сложность модели;
- обязательное наличие вычислительной техники для обработки опытных данных.

Работа выполнена в рамках сотрудничества между Брестским государственным техническим университетом и Белостокским техническим университетом (Польша).

Список литературы

1. Ананьев А. И. Особенности теплофизических свойств керамического, силикатного кирпича и бетонных камней в кладке стены // Проблемы строительной теплофизики, систем микроклимата и энергосбережения в зданиях: Материалы III науч.-практ. конф. – М.: НИИСФ, 1998. – С. 174–184.

2 Таратута В. Д., Обьедков В. А. и др. Исследование температурно-влажностного режима стен памятников архитектуры конца XVII века: Рукопись МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1982. – 8 с. Деп. во ВНИИИС в 1982 г. № 3504.

3 Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.

4 Wyrwał J., Świrska J. Problemy zawilgocenia przegród budowlanych. – Polska Akademia Nauk. Komitet inżynierii ładowej i wodnej. Instytut podstawowych problemów techniki. – Warszawa, 1998.

5 Gaffner D. Determination of moisture flow coefficients for porous materials by using the "moment method", Building Physics in the Nordic Countries (J. Kronral ed.). Swedish Council for Building Research, DW13. – Stockholm, 1988. – P. 423–427.

6 Лыков А. В. Теоретические основы строительной теплофизики. – Мн.: Изд-во Акад. наук БССР, 1961. – 520 с.

7 Афонин А. В., Никитин В. И. К расчету переноса жидкой влаги в капиллярно-пористых материалах // Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений, подготовки инженерных кадров для строительной отрасли: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. семинара – Мн.: Стринко, 2001. – С. 29–34.

8 Афонин А. В., Никитин В. И. Вычисление коэффициентов переноса жидкой влаги в капиллярно-пористых строительных материалах // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – 2002. – № 1(13). – С. 10–15.

9 Титовская В. Г. Исследование формирования структуры керамзитового гравия // Строительные материалы. – 1977. – № 9. – С. 30–33.

Получено 06.08.2003 г.

ISBN 985–6550–90–4. Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь. Гомель, 2005

УДК 624.011.04

А. А. БОРИСЕВИЧ, О. Л. ВЕРБИЦКАЯ
Белорусский национальный технический университет

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМОЙ ПЛАСТИНКИ С ВЫБОРОМ ШАГА ПО РЕСУРСАМ ОГРАНИЧЕНИЙ

Рассматривается возможность применения эффективных методов оптимизации, учитывающих особенности механических свойств материалов, для снижения материалоемкости и стоимости строительных конструкций и сооружений при их проектировании. Приводится алгоритм оптимизации прямоугольной шарнирно опертой по контуру нелинейнодеформируемой пластинки с возможностью выбора шага поиска оптимального решения по ресурсам ограничений.

Для снижения материалоемкости и стоимости строительных конструкций и сооружений требуется при их проектировании применение эффективных методов оптимизации, учитывающих особенности механических свойств материалов. Одной из таких особенностей, которые обеспечивают достоверность результатов о напряженно-деформированном состоянии сооружений, является нелинейность закона деформирования [1], которой обладают многие строительные материалы – бетон, естественные камни, высокопрочные стали и др.

В алгоритме оптимизации прямоугольной шарнирно опертой по контуру нелинейно деформируемой пластинки предусматривается выбор шага поиска оптимального решения по ресурсам ограничений. Исследуемая пластинка разделена на n прямоугольных частей, каждая из которых имеет свою толщину t_i . В качестве целевой функции принят объем пластинки

$$V(\vec{t}) = \min V(\vec{t}), \quad \vec{t} \in R_n, \quad (1)$$

где \vec{t} – вектор (точка) n -мерного пространства R_n ; $\vec{t} = (t_1; t_2; \dots; t_n)^T$.

Параметры оптимизации ограничены только снизу

$$t_i \geq t_{0i}, \quad i = 1; 2; \dots; n. \quad (2)$$

Ограничения, выражающие условие прочности, записываются в виде

$$R_u - \sigma_{ei} \geq 0, \quad i = 1; 2; \dots; m_r, \quad (3)$$

где R_u – расчетное сопротивление материала пластинки; σ_{ei} – максимальное эквивалентное напряжение в пластинке; m_r – количество ограничений по прочности пластинки.