

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК [692.23:697.137.2](043)

КОФАНОВ
Валерий Анатольевич

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНО-
ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

по специальности
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Брест 2013

Работа выполнена в Учреждении образования «Брестский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Никитин Вадим Иванович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительной механики Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Официальные оппоненты: **Гурьев Владимир Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя Государственного унитарного предприятия города Москвы «Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования».

Холодарь Борис Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Опонирующая организация: Научно-исследовательское и проектно-технологическое республиканское унитарное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.».

Защита состоится « 18 » декабря 2013 г. в 13:00 часов на заседании совета по защите диссертаций К 02.09.01 при Учреждении образования «Брестский государственный технический университет» по адресу: г. Брест, ул. Московская, 267, ауд. 1/323, телефон ученого секретаря +375 162 406-087.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Автореферат разослан «14» ноября 2013 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций К 02.09.01,
кандидат технических наук, доцент



В.Л. Шевчук

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных элементов, обеспечивающих защиту зданий и сооружений от воздействия внешней среды и комфортный режим помещений, являются ограждающие конструкции. К этим конструкциям предъявляются все более повышенные требования по тепло-, влаго-, звуко- и воздухозащите, а также прочности, долговечности, декоративным и другим свойствам, которые должны сохраняться в течение заданного срока эксплуатации. Значения этих свойств могут существенно изменяться в зависимости от температурно-влажностного состояния материалов ограждающих конструкций, прогнозирование которого зависит от методики расчета.

При использовании в методике расчета упрощенных зависимостей, основанных на уравнениях стационарного переноса тепла и пара, которые недостаточно полно учитывают действие окружающей среды и современные представления о механизмах перемещения влаги в капиллярно-пористых средах, материалы запроектированных ограждающих конструкций зданий в процессе их эксплуатации оказываются в переувлажненном состоянии. В этом случае происходит отказ конструкций по тепло- и влагозащитной функциям, который в свою очередь приводит к снижению прочности и долговечности, а также к ухудшению санитарно-гигиенических условий в помещениях. Поэтому за рубежом решению этой проблемы уделяется большое внимание и в строительных нормах предусмотрена оценка влажностного состояния материалов ограждающих конструкций. В ряде зарубежных стран (Германия, Финляндия, Франция, Бельгия, Швеция, Польша, США, Канада и др.) проводятся обширные научные исследования, связанные с совершенствованием методов расчета температурно-влажностного состояния ограждающих конструкций.

Одним из приоритетных направлений развития методов расчета является более полный учет воздействий окружающей среды, которые характеризуются температурой и относительной влажностью воздуха, атмосферными осадками, солнечной радиацией, направлением и силой ветра, изменениями атмосферного давления и т.п. Так, в последние годы за рубежом опубликованы работы, в которых на основе натуральных экспериментов и компьютерной имитации показано, что атмосферные осадки в виде дождя оказывают довольно сильное влияние на влажностное состояние ограждающих конструкций. Однако в настоящее время в инженерных расчетах обычно учитываются только усредненные значения температуры и относительной влажности воздуха.

Известно, что процесс влагопереноса в капиллярно-пористых материалах и механизмы этого процесса в значительной мере определяются характеристиками пористой структуры, для определения которых часто требуется сложное и дорогостоящее оборудование. Поэтому другим направлением развития метода расчета является учет параметров поровой структуры материалов, определяемых расчетным путем, полученным на основе менее трудоемких и теоретически обоснованных методов.

К сожалению, в нашей республике этим вопросам не уделяется должного внимания, и в нормах ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» не предусмотрены расчеты влажностного состояния материалов ограждающих конструкций. В этой ситуации с точки зрения влажностного состояния ограждающих конструкций сложно прогнозировать последствия использования новых строительных материалов, конструктивных решений, технологий, оценивать результаты проведения мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов (снижение температуры теплоносителей в системе отопления, периодическое отключение подачи тепла потребителям), а также решать другие задачи.

В связи с вышесказанным настоящая работа, связанная с расчетами нестационарных температурно-влажностных полей в материалах ограждающих конструкций с учетом особенностей поровой структуры материалов и параметров, характеризующих воздействия окружающей среды, является актуальной.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами.

Работа выполнена в рамках Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Строительство и архитектура», задания по теме ГБ 02/212 «Разработка компьютерной модели нестационарных температурно-влажностных и напряженно-деформационных полей в материалах наружных панелей зданий и сооружений».

Цель и задачи исследования.

Целью настоящего исследования является разработка метода расчета нестационарных температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях зданий и сооружений с учетом воздействий окружающей среды и капиллярно-пористых свойств материалов, позволяющего оценивать эксплуатационную надежность при проектировании этих конструкций. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать причины и последствия переувлажнения капиллярно-пористых материалов ограждающих конструкций, существующие представления о механизмах и математические описания процессов тепло-массопереноса в капиллярно-пористых средах;
- разработать математическую модель и ее компьютерную реализацию, позволяющую определять нестационарные температурно-влажностные и напряженно-деформационные поля в капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций от реальных воздействий окружающей среды и капиллярно-пористых свойств этих материалов;
- проверить адекватность разработанной модели путем сопоставления результатов вычислительного и физического экспериментов, а также выяснить ее способность выполнять основные для научно-технических исследований функции объяснения и прогнозирования;
- с помощью вычислительных и физических экспериментов определить температурно-влажностные и напряженно-деформационные поля для выбранных ограждающих конструкций от воздействий окружающей среды при различном их начальном влагосодержании.

Объектом исследований являлась ограждающая конструкция, состоящая из капиллярно-пористых материалов, предметом исследования – нестационарные температурно-влажностные поля.

Положения, выносимые на защиту:

- новый метод расчета нестационарных температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях с учетом воздействий окружающей среды и капиллярно-пористых свойств материалов;
- новая зависимость определения плотности потока дождевой влаги, проникающей через наружную поверхность ограждающих конструкций, позволяющая учитывать воздействия косого дождя при расчете нестационарных температурно-влажностных полей.

нарных температурно-влажностных полей в капиллярно-пористых материалах этих конструкций;

- новый теоретически обоснованный метод определения коэффициента переноса жидкой влаги в капиллярно-пористых материалах, который является наименее трудоемким и не требующим применения дорогостоящей аппаратуры, т.к. использует данные о кинетике одномерного водопоглощения влаги;
- экспериментальные данные влажностных полей в ограждающей газосиликатной панели и основные гидравлические характеристики этого материала, установленные по кинетике одномерного капиллярного впитывания воды, полученной экспериментально;
- расчетные данные температурно-влажностных полей в выбранных капиллярно-пористых материалах, находящихся под воздействием окружающей среды, полученные с использованием разработанной компьютерной программы «ГВиНД».

Личный вклад соискателя.

Диссертационная работа представляет собой самостоятельный труд соискателя, выполненный в Учреждении образования «Брестский государственный технический университет» под руководством доктора технических наук, профессора В.И. Никитина.

Апробация результатов диссертации.

Результаты выполненной диссертационной работы были доложены и обсуждены на следующих научных конференциях:

- XLIII Международной конференции «Актуальные проблемы прочности» (Витебск, 2004 г.);
- XI Международном научно-методическом межвузовском семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь» (Брест, 2004 г.);
- VIII Республиканской конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (Гомель, 2005 г.);
- III Международной научно-технической конференции «Строительство на основе оптимизации энергетического потенциала» (Политехника Ченстохова, 2005 г.);
- VII Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы математики и вычислительной техники» (Брест, 2011 г.).

Опубликованность результатов.

9 статей в научных изданиях, соответствующих перечню ВАК РБ, общим объемом 5,4 авторских листов; 9 публикаций в научных изданиях и материалах конференций.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, представленной пятью главами, заключения, библиографического списка из 152 наименований и приложений.

Объем диссертации составляет 175 страниц. Работа содержит 94 рисунка на 41 странице, 13 таблиц на 3 страницах, 3 приложения на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит три раздела, посвященных рассмотрению причин и последствий переувлажнения материалов ограждающих конструкций, а также оценке существующих методов описания температурно-влажностного состояния ограждающих конструкций.

По ряду негативных причин материалы ограждающих конструкций в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений могут находиться в переувлажненном состоянии. Так, анализ рассмотренных экспериментальных данных показал, что эксплуатационное влагосодержание материалов конструкций, запроектированных по существующим нормам, в процессе эксплуатации в 2-3 и более раз превышает нормируемое значение. Повышенное влагосодержание материалов объясняется, прежде всего, тем, что при расчетах влажностного состояния конструкций не учитываются атмосферные осадки в виде дождя, недостаточно точно оцениваются капиллярно-пористые свойства материалов.

В связи с этим необходимо разработать метод расчета температурно-влажностного состояния материалов ограждающих конструкций с учетом температуры, относительной влажности воздуха и атмосферных осадков в виде дождя, а также капиллярно-пористых свойств этих материалов. При этом целесообразно использовать современный подход в решении таких задач, заключающийся в имитационном моделировании нестационарных процессов тепломассопереноса.

Во *второй главе* представлены особенности разрабатываемого метода расчета.

Одной из таких особенностей является учет атмосферных осадков в виде дождя. Для учета влияния косо дождя использована зависимость, описывающая процесс поглощения дождевой влаги капиллярно-пористым материалом. В этой зависимости коэффициент сорбции воды A (англ. water absorption coefficient) характеризует явление капиллярного впитывания воды материалом. В работе раскрыт физический смысл этого коэффициента и описана методика его определения.

Проведен лабораторный эксперимент по описанной методике на образцах, выпиленных из газосиликатных панелей эксплуатируемого сооружения. По результатам эксперимента получена кривая, описывающая процесс поглощения воды газосиликатным образцом (рисунок 1), по которой был определен коэффициент сорбции воды для этого материала.

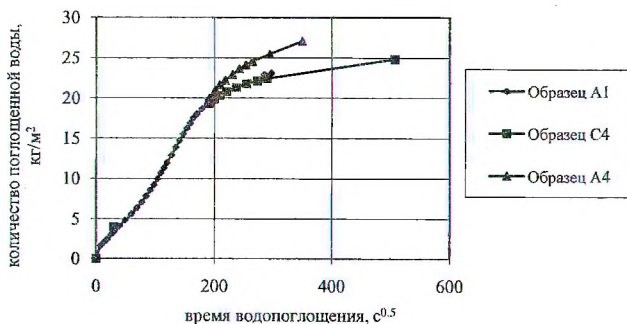


Рисунок 1 – Изменение количества поглощенной воды газосиликатными образцами во времени

На основе зависимости, описывающей кинетику капиллярного впитывания воды, получено выражение для определения плотности потока дождевой влаги, проникающей в материал с его поверхности, с учетом капиллярно-пористых свойств этого материала:

$$g_{w,\max} = \frac{A}{\Delta\tau} \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{w \cdot d}{A} \right)^2 + \Delta\tau} - \frac{w \cdot d}{A} \right), \quad (1)$$

где A – коэффициент сорбции воды, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0,5})$;

$\Delta\tau$ – время контакта с водой, с;

w – влагосодержание материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

d – толщина элементарного слоя, контактирующего с дождевой водой, м.

Если на поверхности материала за время $\Delta\tau$ не образуется устойчивой пленки воды (недостаточное количество дождевой влаги), то плотность потока проникающей в материал дождевой влаги будет определяться:

$$g_{wv} = \kappa \cdot g_{wh}, \quad (2)$$

где g_{wv} – интенсивность дождевого потока на вертикальную поверхность материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

g_{wh} – интенсивность дождевого потока на горизонтальную поверхность материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

κ – переходной коэффициент, учитывающий соотношение между g_{wv} и g_{wh} и принимающий значение от 0 до 1.

Переходной коэффициент κ зависит от различных факторов, среди которых следует отметить скорость и направление ветра, размер капли, положение поверхности ограждения относительно поверхности земли и сторон света.

С учетом физики процесса увлажнения поверхности ограждающей конструкции косым дождем плотность потока поглощенной дождевой воды будет определяться по выражению

$$g_w = \min\{g_{w,\max}, g_{wv}\}. \quad (3)$$

Другой особенностью метода является определение значения коэффициента влагопереноса для капиллярно-пористых материалов расчетным путем. В работе описаны существующие методы определения этого коэффициента, при реализации которых необходимо выполнять довольно длительные и трудоемкие эксперименты, использовать дорогостоящую аппаратуру и непростые вычислительные процедуры. Для преодоления вычислительных и экспериментальных трудностей описанных методов предлагается использовать наименее трудоемкий, достаточно точный и теоретически обоснованный метод оценки коэффициента переноса жидкой влаги в строительных материалах, заключающийся в получении опытных данных о кинетике одномерного водопоглощения образцами материала

$$D_w(w) = \frac{2 \cdot A^2 \cdot \xi^2(\Phi(w_k)) \cdot b(s(w))}{w_k^2 \cdot \xi(\Phi(w))}, \quad (4)$$

где w_k – влагосодержание материала при капиллярном водонасыщении, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\Phi(w)$ – часть открытой пористости материала, участвующей в переносе влаги:

$$\Phi(w) = \frac{w}{\rho_w}, \quad (5)$$

где ρ_w – плотность воды, кг/м³;

$s(w)$ – степень насыщения пор подвижной жидкостью:

$$s(w) = \frac{w}{w_k}, \quad (6)$$

$b(s)$ – безразмерная функция, зависящая от степени насыщения пор подвижной жидкостью s ;

$$b(s) = 5.034 \cdot 10^{-2} \cdot s^{0.2405} + \frac{0.0259 \cdot s}{1.027 - s}, \quad (7)$$

$\xi(\Phi)$ – коэффициент извилистости капилляров, заполненных подвижной жидкостью.

Для определения коэффициента извилистости капилляров ξ , входящего в формулу (4), в обширной литературе предлагается ряд эмпирических формул. Эти формулы применимы для узкого круга материалов и в узком диапазоне пористостей. Поэтому в работе, опираясь на универсальные научные подходы, получена новая зависимость для определения коэффициента извилистости капилляров

$$\xi(\Phi) = \Phi \cdot \left\{ \frac{1}{2} + \sin \left[\frac{\arcsin(2 \cdot \Phi - 1)}{3} \right] \right\}^{-2}, \quad (8)$$

где Φ – часть открытой пористости материала, участвующей в переносе влаги.

Выполнен сравнительный анализ предлагаемых теоретически обоснованных зависимостей (4) и (8) с другими формулами, включающими эмпирические коэффициенты, и экспериментальными данными (рисунок 2 и рисунок 3).

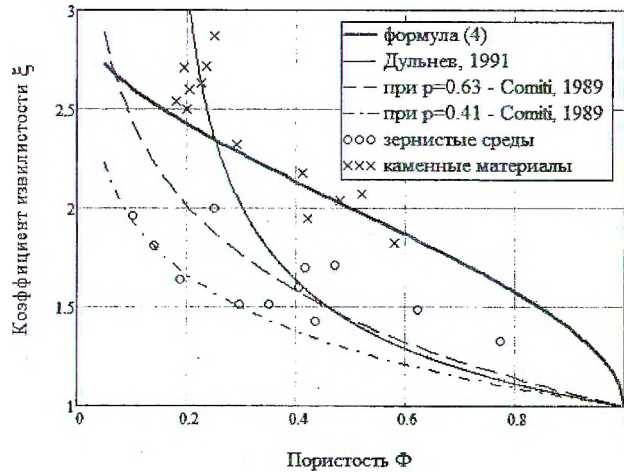


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента извилистости капилляров ξ от пористости Φ

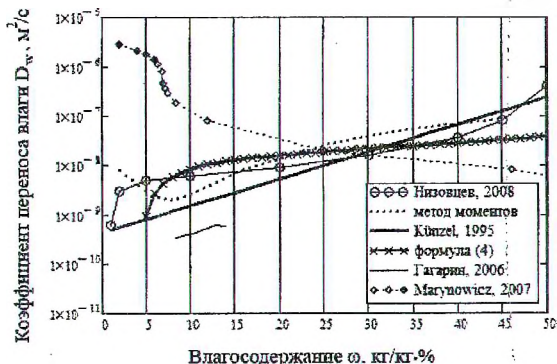


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента переноса жидкой влаги от влагосодержания газобетона

Показано, что большое влияние на значение коэффициента переноса влаги оказывает анизотропия материалов и изделий. Так, коэффициент анизотропии для керамических изделий, определяемый как отношение значения коэффициента переноса влаги в направлении формования изделий к значению того же коэффициента в направлении, перпендикулярном направлению формования, может достигать значения 7.5. Поэтому при расчетах влажностного состояния стен из изделий строительной керамики нужно использовать значения коэффициентов капиллярного переноса влаги с учетом анизотропии используемых изделий.

В *третьей главе* представлено математическое описание явлений переноса тепла и влаги, а также сопутствующих деформаций и напряжений в капиллярно-пористых строительных материалах.

Рассмотрена характеристика внутренней структуры капиллярно-пористых материалов, а также подробно описаны три основных механизма переноса влаги в этих материалах (диффузия пара, поверхностная диффузия и капиллярный влагоперенос). В зависимости от внутренней структуры материала и его влажности перенос влаги может объясняться этими тремя механизмами. Для условного мезопористого материала на рисунке 4 показано наличие всех трех механизмов влагопереноса.

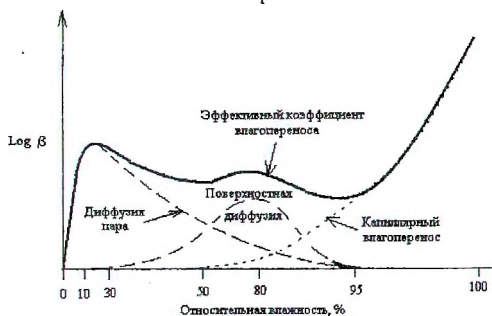


Рисунок 4 – Изменение эффективного коэффициента влагопереноса для гипотетического мезопористого материала

При низком влагосодержании, диффузия является главным механизмом влагопереноса и описывается законом Фика. При 30% относительной влажности воздуха на поверхности пор начинает проявляться поверхностная диффузия из адсорбированной влаги, и вклад диффузии Фика постепенно снижается. В диапазоне относительной влажности воздуха от 50 до 90% поверхностная диффузия является важной составляющей в общем потоке влаги. Действие этого механизма может продолжаться до полного капиллярного водонасыщения материала. Капиллярный влагоперенос начинает доминировать при относительной влажности свыше 95%, значительно увеличивая влагосодержание. Отмеченные границы процессов переноса влаги в зависимости от размеров пор могут изменяться в очень широком диапазоне.

Нестационарные процессы переноса тепла и влаги в капиллярно-пористых материалах представлены в виде общепризнанной математической модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{1}{c(w) \cdot \rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(w) \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right); \quad q = \alpha_t \cdot (t_a - t_x); \\ \frac{\partial w}{\partial \tau} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu(w) \cdot \frac{\partial (\varphi \cdot E_t)}{\partial x} \right); \quad q_\tau = \frac{E_t}{R_n} \cdot (\varphi_a - \varphi_x); \\ \frac{\partial w}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w(w) \cdot \frac{\partial w}{\partial x} \right); \quad g_w = \min \{ g_{w, \max}, g_{wv} \}; \\ t|_{\tau=0} = t_0; \quad w|_{\tau=0} = w_0; \quad t_1|_{x=0} = t_2|_{x+0}; \quad \varphi_1|_{x=0} = \varphi_2|_{x+0}, \end{array} \right. \quad (9)$$

где t – температура материала, °С;

τ – время, с;

c – теплоемкость материала, Вт·с/(кг·°С);

ρ – плотность материала, кг/м³;

x – пространственная координата, м;

λ – теплопроводность материала, Вт/(м·°С);

φ – относительная влажность в порах материала, %;

μ – коэффициент паропроницаемости материала, кг/(м·с·Па);

E_t – максимальная упругость водяного пара при температуре t , Па;

D_w – коэффициент переноса жидкой влаги, м/с²;

q – плотность потока тепла, проходящего через поверхность конструкции, Вт·с/(м²·с);

α_t – коэффициент теплоотдачи у поверхности конструкции, Вт/(м²·°С);

q_v – плотность потока паробразной влаги, проходящего через поверхность конструкции, кг/(м²·с);

R_n – сопротивление паропроницанию у поверхности конструкции, Па·с·м²/кг;

g_w – плотность потока дождевой воды, всасываемой внутрь ограждения через его поверхность, кг/(м²·с);

t_0, w_0 – начальная температура и влагосодержание материала соответственно;

t_1, t_2 – температура материалов в плоскости их контакта, °С;

φ_1, φ_2 – относительная влажность в порах материалов в плоскости их контакта.

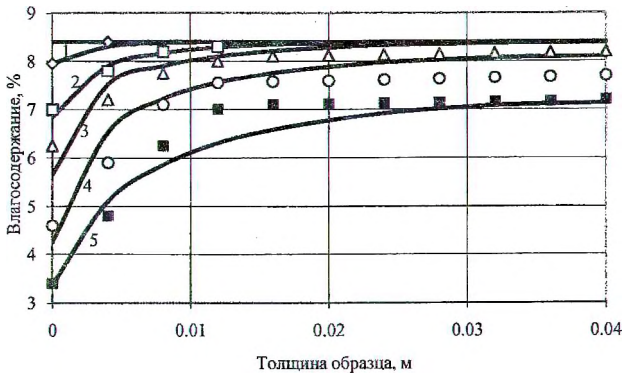
Для численного решения дифференциальных уравнений тепломассопереноса использовался метод элементарных балансов. В соответствии с этим методом подробно были рассмотрены уравнения баланса тепла и влаги между воздушной средой и наружной поверхностью стены, между элементарными стенками однородного материала, а также на стыке разнородных материалов.

Для определения относительных деформаций и напряжений в капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций, вызванных неравномерным распределением температуры и влагосодержания по толщине материала, использовались известные из теории упругости выражения, полученные для тонкого круглого диска с осесимметричным распределением температуры и влагосодержания относительно центра.

Представленное математическое описание (9) реализовано в виде компьютерной программы «ТВИНД», зарегистрированной в Национальном центре интеллектуальной собственности. Программа обеспечивает проведение вычислений в диалоговом режиме, позволяющем использовать опыт разработчика при уточнении самой модели. В процессе отладки компьютерная программа, а также ее составные части постоянно тестировались на способность качественно и количественно воспроизводить элементарные физические явления в строго заданных условиях.

В *четвертой главе* показана верификация математической модели с помощью экспериментальных данных, полученных для образцов различных материалов (цементно-песчаный раствор, обычный бетон, песчаник и зернистая среда), испытанных в различных условиях (лабораторных и натуральных).

В качестве первого примера рассматривался процесс изотермической сушки водонасыщенных образцов из цементно-песчаного раствора, описанный опытным (точки) и расчетным (линии) путем, и показанный на рисунке 5. Из рисунка видно, что максимальное отклонение расчетных данных от экспериментальных не превышает 10%.



расчет: 1 – через 1 ч; 2 – через 5 ч; 3 – через 12 ч; 4 – через 49 ч; 5 – через 240 ч и
опыт: ♦ – через 1 ч; □ – через 5 ч; Δ – через 12 ч; ○ – через 49 ч; ■ – через 240 ч

Рисунок 5 – Распределение влагосодержания по сечению образца в процессе сушки

Варьирование исходных величин при проведении вычислительных экспериментов показало, что в процессе сушки на величину и характер изменения влагосодержания по сечениям образца наиболее существенно влияют характеристики изотермы десорбции материала, значения коэффициента паропроницаемости и коэффициента переноса жидкой влаги.

На основе полученных полей влагосодержания определены поля напряжений. При заданном значении предельных напряжений показана возможность расчета глубины проникновения микротрещины, вызванной действием растягивающих напряжений в поверхностных слоях образцов.

В качестве второго примера рассмотрен изотермический процесс насыщения парами воды зернистой среды. Описаны особенности зернистой среды с точки зрения переноса влаги. Показано, что основным механизмом влагопереноса в такой среде будет являться диффузия пара.

Результаты расчетов и опытные данные, представленные на рисунке 6, достаточно хорошо описывают кинетику поглощения водяных паров зернистой средой.

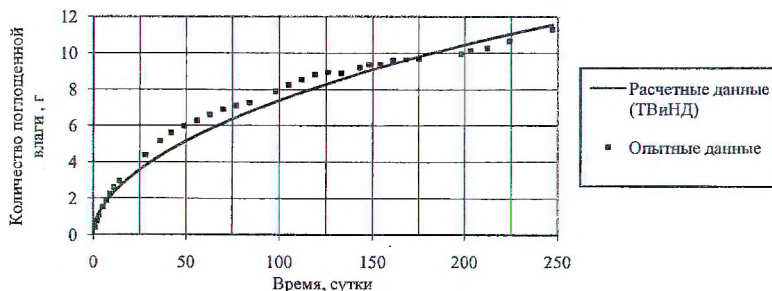


Рисунок 6 – Изменение влагосодержания образца зернистой среды

В следующем примере рассмотрены результаты вычислительного и натурного экспериментов процесса влагопереноса в образцах из песчаника, находящихся в наружной стене под воздействием окружающей среды (в том числе и косых дождей). Результаты сопоставления расчетных и опытных данных показаны на рисунке 7. Из рисунка видно, что экспериментальные данные достаточно точно описываются кривой, построенной по расчетным данным, полученным как при коэффициенте κ , равном 1, так и при κ , равном 0.7.

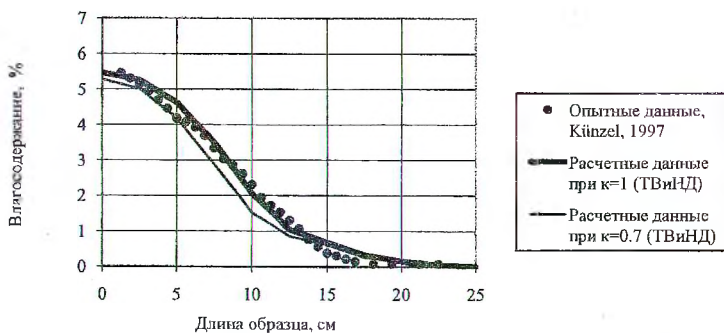


Рисунок 7 – Распределение влаги по длине образца песчаника на восьмидесятый день испытания

При снижении переходного коэффициента k , учитывающего соотношение между количеством осадков на единицу горизонтальной и вертикальной поверхностей, с единицы до 0.7 привело к снижению рассчитываемого среднего влагосодержания материала к концу рассматриваемого периода на 10%. Снижение коэффициента k с единицы до 0.5 уменьшило влагосодержание уже на 25%. При расчете без учета дождевых осадков среднее значение влагосодержания материала к концу расчетного периода составило лишь четверть от среднего значения влагосодержания, полученного при $k=1$. Это свидетельствует о том, что при оценке влажностного состояния материалов ограждающих конструкций необходимо учитывать не только изменения относительной влажности воздушной среды, но и количество дождевых осадков.

В конце главы выполнен расчет коэффициентов линейной влажностной усадки-набухания для цементосодержащих материалов. Значения этих коэффициентов необходимы для связи влагосодержания материала с его свободной влажностной деформацией при определении нестационарных полей влажностных деформаций и напряжений.

В пятой главе рассматривается температурно-влажностное состояние ряда ограждающих конструкций из пенобетона при начальной нормальной влажности (4,5%) и повышенной влажности (20%) с учетом климатических условий, характерных для г. Бреста.

Рассмотрение однослойной конструкции из газосиликатных блоков с нормальной влажностью показало, что наиболее неблагоприятным периодом эксплуатации является летний период года, характеризующийся большими амплитудами колебания температуры и относительной влажности окружающей среды, а также обильными дождевыми осадками в сравнении с зимним периодом года.

Выполненные вычислительные эксперименты показали, что при учете атмосферных осадков в виде дождя влагосодержание наружных элементарных слоев пенобетона может увеличиться в 3 раза, а напряжения в них могут достигнуть половины своих предельно допустимых значений. Во избежание таких неблагоприятных последствий конструкцию необходимо защищать от действия атмосферных осадков.

При расчете однослойной конструкции из пенобетонных блоков с защитно-отделочным слоем из цементно-песчаного раствора с учетом климатических условий июля месяца основную долю дождевой влаги воспринимала штукатурка (рисунок 8).

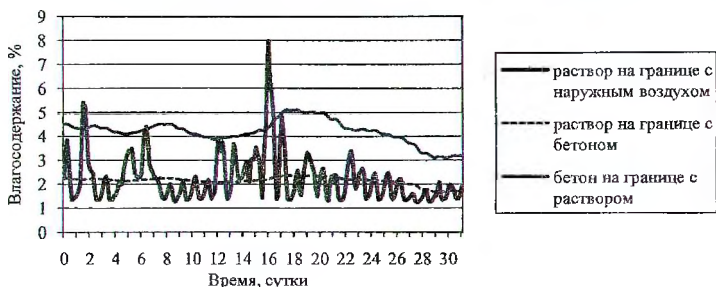


Рисунок 8 – Расчетные значения влагосодержания в однослойной конструкции из пенобетонных блоков с защитно-отделочным слоем (2 см) из цементно-песчаного раствора на протяжении июля месяца с учетом дождей

В связи с этим в отделочном слое появляются чрезмерно большие напряжения, которые вызывают появление в этом слое микротрещин. На основе накопленного опыта таких расчетов стоит отметить, что штукатурный слой выполняет влагозащитные функции лишь непродолжительное время (до 3 месяцев).

Были также выполнены расчеты при толщине отделочного слоя 1 см и 4 см. Оказалось, что с увеличением толщины отделочного слоя на стыке материалов значение напряжений и их амплитуда уменьшаются. Следовательно, с увеличением толщины слоя покрытия адгезионная прочность будет сохраняться более длительное время, что подтверждается экспериментальной оценкой.

При расчете температурно-влажностного состояния стены из пенобетонных блоков с утеплением из пенопласта и защитно-отделочным слоем изменение влагосодержания штукатурки останется таким же, как показано на рисунке 8 (—), а влагосодержание пенобетона – на уровне 4-5%. В этом случае часть дождевой влаги будет впитываться и удерживаться утеплителем.

Величина температурно-влажностных напряжений в пенобетонных блоках не достигла своего предельного значения, а вот напряжения в защитно-отделочном слое во время дождя, наоборот, достигли своих предельных значений, объясняя тем самым образование на наружной поверхности конструкции микротрещин.

В соответствии с нормами ТКП 45-2.04-43-2006 считаются эксплуатационные свойства ограждающих конструкций обеспечиваются на основе обязательных расчетов по сопротивлению теплопередаче и паропроницанию. Вызывало интерес сравнить результаты этих обязательных расчетов с результатами, полученными с помощью разработанного метода.

В качестве ограждающей конструкции рассмотрена однослойная стена из пенобетона, защищенного слоями цементно-песчаной штукатурки с обеих сторон и имеющего начальную эксплуатационную влажность. Толщина слоя из пенобетона принята равной 60 см, толщина слоя штукатурки – 2 см.

По результатам теплотехнического расчета, в котором учитывались климатические условия Брестской области, данная конструкция удовлетворяет требованиям ТКП 45-2.04-43-2006 по теплозащите. Влажностный расчет этими нормами не предусмотрен. Выполненный расчет влажностного состояния по немецким нормам DIN 4108 также показал, что в конструкции не происходит накопление влаги в отопительный период.

Результаты расчета, полученные с помощью разработанного метода и представленные на рисунке 9, показывают, что среднее значение влагосодержания пенобетона через год увеличится и превысит начальное влагосодержание в 2,5 раза. В течение последующих двух лет тенденция влагонакопления сохранится.

При оценке температурно-влажностного состояния материалов ограждающих конструкций большой практический интерес представляют собой конструкции, в которых начальное влагосодержание пенобетона превышает нормальное в несколько раз.

С практической точки зрения инженера не интересуют процессы сушки или увлажнения материала конструкции. Его интересуют ответы на такие вопросы: будет ли материал конструкции высыхать в процессе эксплуатации при его начальной влажности намного выше эксплуатационной, будут ли атмосферные осадки оказывать влияние на влагосодержание материала конструкции?

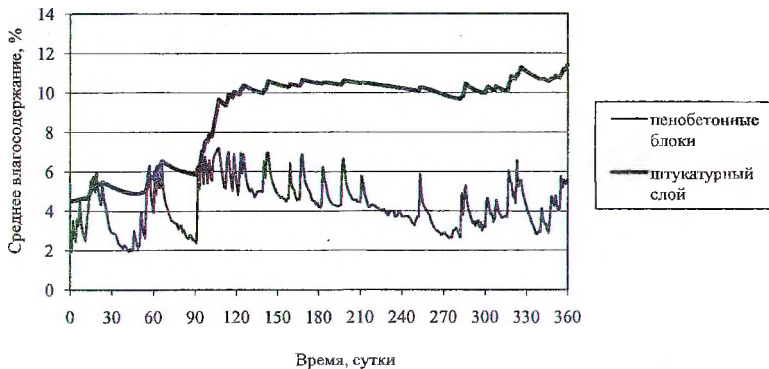


Рисунок 9 – Изменение среднего значения влагосодержания в наружном штукатурном слое и пенобетонных блоках

После возведения несущей части стены пенобетонные блоки содержат в себе большое количество влаги вследствие «мокрого» технологического процесса. Влагосодержание их находится на уровне 20%, в то время как эксплуатационное влагосодержание должно составлять 4,5%.

Рассмотрено изменение влагосодержания стен из пенобетонных блоков с начальной влажностью 20% в процессе их эксплуатации без учета и с учетом дождя.

Если не учитывать дождевые осадки, то в соответствии с результатами расчетов, выполненных с использованием разработанного метода и показанных на рисунке 10 (жирная линия), продолжительность высыхания такой конструкции составляет два года. К такому же выводу приводят результаты, полученные инженерными методами (точки на рисунке 10).

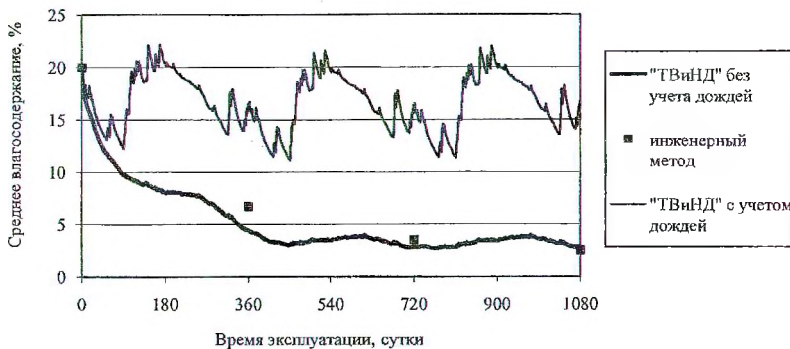


Рисунок 10 – Изменение среднего значения влагосодержания в стенке из ячеистого бетона толщиной 30 см

С учетом воздействия атмосферных осадков в виде дождя среднее значение влагосодержания пенобетонных блоков, показанное на рисунке 10 (тонкая линия), оказывается примерно в 3-4 раза больше, чем среднее значение влагосодержания, полученное без учета дождя.

Без учета влияния дождевых осадков на влагосодержание пенобетонных блоков результаты инженерного расчета (точки на рисунке 10) будут совпадать с результатами, полученными с помощью разработанной программы «ТВиНД».

Анализируя результаты вычислительного эксперимента можно говорить о том, что инженерные расчеты, не учитывающие атмосферные осадки в виде дождя, не позволяют оценить реальное влажностное состояние пенобетонных блоков.

В случае, когда наружная поверхность несущей части стены защищается слоем пенопластового утеплителя высыхание пенобетонных блоков по результатам разработанного метода при воздействии температуры, относительной влажности воздуха и дождевых осадков произойдет через полтора года (сплошная линия на рисунке 11). Такой интенсивный процесс сушки можно объяснить тем, что слой пенопластового утеплителя является надежным тепло- и гидроизоляционным покрытием, в котором практически отсутствует капиллярный влагоперенос. В то время как пенобетонные блоки высыхают, штукатурка и утеплитель находятся в переувлажненном состоянии.

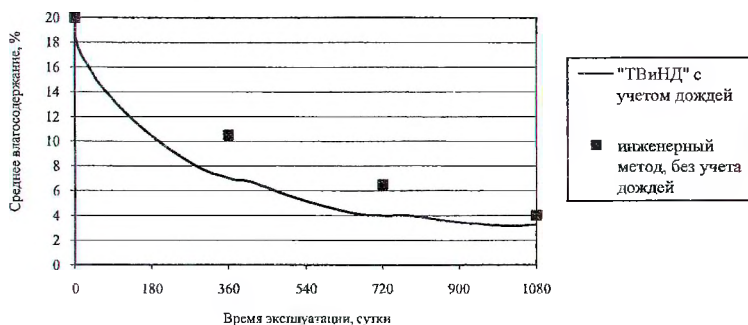


Рисунок 11 – Изменение среднего значения влагосодержания в стене из ячеистого бетона толщиной 30 см (с наружным слоем пенопласта и штукатурки)

Уменьшить неблагоприятное воздействие атмосферных осадков на ограждающие конструкции можно также путем уменьшения впитывающей способности отделочного слоя штукатурки, например с помощью гидрофобизации.

Вычислительные эксперименты показали, что для защиты несущей части конструкции от дождя необходимо использовать жесткие пенопластовые утеплители либо устраивать вентилируемые фасады. В случае устройства вентилируемых фасадов пенобетонная стена при начальной влажности 20% высохнет в течение года (рисунок 10, жирная линия).

Стоит отметить, что при использовании пенопластового утеплителя через год после завершения строительства влагосодержание пенобетонных блоков с начальной влажностью 20% снизится до 7%, а еще через полгода их влагосодержание будет со-

ответствовать нормальной влажности (4,8%) (рисунок 11). При таком конструктивном решении значительная часть влаги испаряется из пенобетонных блоков внутрь помещения (рисунок 12), что негативно сказывается на санитарно-гигиеническом состоянии этих помещений в начальный период эксплуатации.

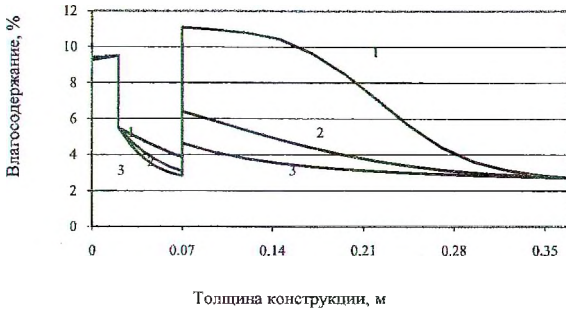


Рисунок 12 – Распределение влагосодержания по толщине слоистой ограждающей конструкции через один (1), два (2) и три (3) года эксплуатации

Для дополнительной верификации программы «ТВиНД» был проведен натурный эксперимент по определению влагосодержания ограждающей газосиликатной панели эксплуатируемого сооружения. Отбор проб проводился в декабре 2008 г. (отопляемое помещение) и сентябре 2009 г. Экспериментально влагосодержание проб определялось весовым методом, а его расчетные значения получены с помощью разработанной компьютерной программы «ТВиНД». Полученные профили влажности показаны на рисунках 13 и 14.

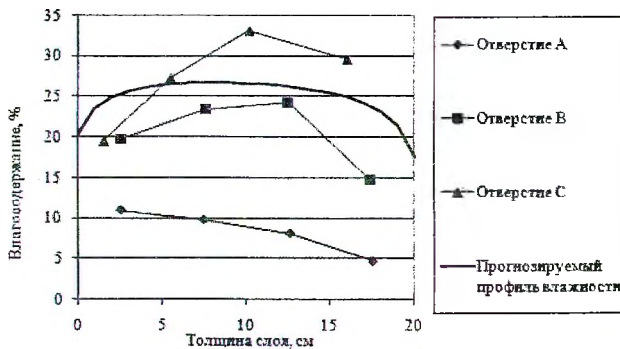


Рисунок 13 – Профили влажности для образцов, отобранных 27.12.08

Профиль влажности для внутренних слоев (3/4 толщины ограждения) находится в пределах доверительного интервала. Отклонение расчетных и опытных данных наружного слоя можно объяснить использованием недостаточно полной информации о воздействии внешней среды.

Значительное отклонение влагосодержания образцов из отверстия А (рисунок 13) от влагосодержания образцов из отверстий В и С объясняется тем, что отверстие А находилось на месте расположения отопительного устройства.

Из рисунков 13 и 14 видно, что в теплый период года влагосодержание газосиликата превышает эксплуатационную влажность (4.5%) в 4-6 раз, а в холодный период года в 6-8 раз. В результате чего материал постоянно находится в переувлажненном состоянии, снижая свои теплозащитные характеристики.

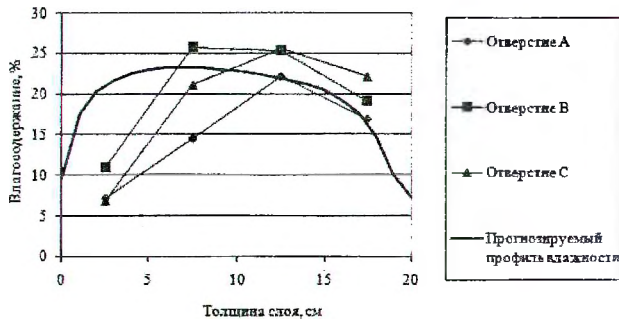


Рисунок 14 – Профили влажности для образцов, отобранных 11.09.09

Неоднократное сравнение результатов расчетов по программе «ТВиНД» с экспериментальными данными показало, что разработанный метод расчета можно использовать для прогнозирования нестационарного температурно-влажностного состояния ограждающих конструкций в течение заданного периода эксплуатации. Точность этого прогнозирования будет определяться точностью учета параметров внешней среды и капиллярно-пористых свойств материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан метод расчета нестационарных температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях зданий и сооружений с учетом воздействий окружающей среды и капиллярно-пористых свойств материалов, базирующийся на законах сохранения энергии и массы и позволяющий оценивать эксплуатационную надежность при проектировании этих конструкций с точки зрения влагозащиты [1, 4, 6, 14, 16, 17, 18].
2. Получена зависимость для определения плотности потока дождевой влаги, проникающей через наружную поверхность ограждающих конструкций, позволяющая учитывать воздействия косого дождя при расчете нестационарных температурно-влажностных полей в конструкциях из капиллярно-пористых материалов [3, 4, 5, 6, 7, 9, 14].
3. Разработан новый теоретически обоснованный метод определения коэффициента переноса жидкой влаги в капиллярно-пористых материалах. Метод не требует применения дорогостоящего оборудования и существенно сокращает время на экспериментальные исследования. Выполненный сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений коэффициента переноса жидкой влаги показал, что разработанный метод по точности не уступает известным методам. Для анизотропных материалов при расчете коэффициента переноса влаги необходимо указывать направление, в котором производилось определение гидравлических характеристик [11, 12, 13].
4. Предложена зависимость для определения коэффициента извилистости капилляров строительных материалов однородной и изотропной пористой структуры в направлении потока влаги, полученная с помощью теории обобщенной проводимости и капиллярной теории. Сравнительный анализ предлагаемой теоретически обоснованной формулы с другими эмпирическими формулами и экспериментальными данными показал, что предлагаемая зависимость является наиболее предпочтительной при определении указанной геометрической характеристики, применяемой при расчетах процессов переноса влаги в капиллярно-пористых материалах строительных материалов [12, 13].
5. Выполнена верификация математической модели с использованием разнообразных экспериментальных данных, полученных отечественными и зарубежными исследователями, а также автором. В этих экспериментах образцы материалов (цементно-песчаный раствор, обычный бетон, песчаник и зернистая среда), испытываемые в различных условиях (лабораторных и натуральных), имели различную капиллярно-пористую структуру. Установлено, что разработанная расчетная модель позволяет с высокой степенью точности рассчитывать изменение температурно-влажностного состояния материалов ограждающих конструкций от заданных воздействий окружающей среды, изменяющихся во времени [3, 7, 8].
6. С помощью вычислительных экспериментов установлено, что прогнозирование температурно-влажностного состояния капиллярно-пористых материалов существенно зависит от значений коэффициентов, учитывающих механизмы диффузии пара, пленочной диффузии и капиллярного влагопереноса.

са, изотерм сорбции и характеристик пористости, которые для одного и того же материала варьируются в очень широком диапазоне. Для повышения точности расчета значения этих параметров необходимо задавать для конкретного материала [2, 3, 16].

7. Проведено натурное исследование влажностного состояния газосиликатной ограждающей панели. Полученные расчетные данные подтвердили экспериментальные и показали, что в теплый период года влагосодержание газосиликата в 4-6 раз превышает эксплуатационную влажность, а в отопительный период года – в 6-8 раз.
8. Показано, что при учете дождевых осадков пенобетон ограждающей конструкции, имеющий начальную влажность 20%, не снизит своего влагосодержания в течение последующих лет эксплуатации, а при начальной нормальной влажности 4,5% влагосодержание пенобетона через год эксплуатации увеличится до 15% и впоследствии повысится в среднем до 20%. При исключении влияния атмосферных осадков на влажностное состояние пенобетона, его начальное влагосодержание (20%) снизится до нормальной влажности в течение полутора лет, что подтверждается инженерными расчетами. Установлено, что для защиты несущего слоя конструкции от атмосферных осадков можно использовать жесткие пенопласты, которые обладают хорошей тепло- и гидроизоляционной способностью [4, 5, 6, 17].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанный метод расчета рекомендуется использовать для определения температурно-влажностного состояния строительных конструкций из капиллярно-пористых строительных материалов при проектировании и эксплуатации зданий, а также при термореновации, термомодернизации и термореконструкции, при проектировании термоизоляции холодильных и нагревательных установок, трубопроводов и т.п.

2. Рекомендуется использовать метод расчета при совершенствовании строительных норм проектирования ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника».

3. Рекомендуется использовать разработанный метод при оценке последствий мероприятий, связанных с экономией топливно-энергетических ресурсов.

4. Рекомендуется использовать компьютерную программу в работах, связанных с определением показателей надежности и безотказности конструкций зданий и сооружений с точки зрения влагузальиты.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в журналах

1. Кофанов, В.А. Поля влагосодержания и напряжений в увлажненной стенке при изотермической сушке / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Вестник БрГТУ. – 2004. – № 1 : Стр-во и арх-ра. – С. 122–125.
2. Кофанов, В.А. Влияние теплотехнических параметров на поля температуры, влажности и напряжений в материале ограждающей конструкции / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Вестник БрГТУ. – 2004. – № 2 : Водохозяйственное стр-во, теплоэнергетика, экология. – С. 48–52.
3. Кофанов, В.А. Влияние атмосферных осадков и параметров влагопереноса материала ограждающих конструкций на их влагосодержание / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Вестник БрГТУ. Стр-во и арх-ра. – Приложение : материалы XI Междунар. науч.-методич. межвузов. семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 25–27 ноября 2004 г. : в 2 ч. – 2004. – Ч. 2. – С. 25–29.
4. Кофанов, В.А. Оценка температурно-влажностных напряжений в двухслойной ограждающей конструкции, эксплуатируемой в климатических условиях г. Бреста / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Вестник БрГТУ. – 2005. – № 2 : Стр-во и арх-ра. – С. 25–29.
5. Кофанов, В.А. Анализ тепловлажностных воздействий на трехслойную ограждающую конструкцию / В.А. Кофанов // Вестник БрГТУ. – 2005. – № 3 : Водохозяйственное стр-во и теплоэнергетика, экология. – С. 39–43.
6. Rahman, A. Stan naprężenia ściany z betonu komórkowego wobec oddziaływania temperatury i wilgoci / A. Rahman, V.I. Nikitin, V.A. Kofanov // Przegląd Budowlany. – 2005. – № 10. – S. 27–30.
7. Rahman, A. Wpływ opadów atmosferycznych oraz parametrów konstrukcji osłonowych na ich wilgotność / A. Rahman, V.I. Nikitin, V.A. Kofanov // Materiały Budowlane : trwałość obiektów. – 2005. – № 12. – S. 24–26.
8. Никитин, В.И. Оценка изотермического влагопереноса в зерновой среде, заполняющей силосы и склады / В.И. Никитин, И.А. Прусел, В.А. Кофанов // Вестник БрГТУ. – 2006. – № 1 : Стр-во и арх-ра. – С. 100–104.
9. Rahman, A. Wpływ opadów atmosferycznych oraz parametrów konstrukcji osłonowych na ich wilgotność / A. Rahman, V.I. Nikitin, V.A. Kofanov // Przegląd Budowlany. – 2006. – № 6. – S. 39–42.
10. Никитин, В.И. Влияние климатических воздействий на влажностное и напряженное состояние стен железобетонных силосов / В.И. Никитин, В.А. Кофанов // Вестник ПГУ. – 2009. – № 6 : Сер. Строительство. Прикладные науки. – С. 57–63.
11. Никитин, В.И. Метод оценки коэффициента влагопереноса строительных материалов / В.И. Никитин, В.А. Кофанов // Вестник ПГУ. – 2011. – № 8 : Сер. Строительство. Прикладные науки. – С. 57–63.
12. Никитин, В.И. Влияние анизотропии изделий строительной керамики на показатели капиллярного влагопереноса / В.И. Никитин, В.А. Кофанов // Вестник БрГТУ. – 2012. – № 1 : Стр-во и арх-ра. – С. 132–136.
13. Никитин, В.И. Определение коэффициента извилистости капилляров строительных материалов при расчете влагопереноса / В.И. Никитин, В.А. Кофанов // Вестник ПГУ. – 2012. – № 8 : Сер. Строительство. Прикладные науки. – С. 57–62.
14. Никитин, В.И. Об учете косого дождя и капиллярных свойств материалов при оценке влагосодержания ограждающих конструкций / В.И. Никитин, В.А. Кофанов // Вестник БрГТУ. – 2013. – № 1 : Стр-во и арх-ра. – С. 91–95.

Тезисы и материалы конференций

15. Кофанов, В.А. Температурно-влажностные напряжения в материале ограждающей конструкции / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Актуальные проблемы прочности : сб. тез. XIII Междунар. конф., Витебск, 27 сен. – 1 окт. 2004 г. : в 2 ч. / Витеб. гос. технол. ун-в. – Витебск, 2004. – Ч. 2. – С. 207.

16. Кофанов, В.А. Особенности расчета переноса жидкой влаги на стыке двух разнородных капиллярно-пористых материалов / В.А. Кофанов // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях : материалы VIII Республиканской науч. конф. студ. и аспирантов, Гомель, 14–16 марта 2005 г. / Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины ; редкол. : Д.Г. Лиин [и др.]. – Гомель, 2005. – С.93–94.

17. Кофанов, В.А. Напряженное состояние трехслойной ограждающей конструкции при температурно-влажностных воздействиях / В.А. Кофанов // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym : praca zbiorowa / Politechnika Częstochowska ; pod red. T. Bobki. – Częstochowa, 2005. – S. 155–162.

18. Кофанов, В.А. Автоматизация этапа подготовки исходных данных для компьютерной программы «ТВИНД» / В.А. Кофанов // Современные проблемы математики и вычислительной техники : материалы VII Республиканской научной конференции молодых ученых и студентов, Брест, 26–28 ноября 2011 г. : в 2 ч. / Брестский государственный технический университет ; под ред. В.С. Рубанова [и др.]. – Брест, 2011. – Ч. 2. – С. 42–44.



РЕЗЮМЕ

Кофанов Валерий Анатольевич

Прогнозирование нестационарного температурно-влажностного состояния ограждающих конструкций из капиллярно-пористых материалов

Ключевые слова: ограждающая конструкция, капиллярно-пористый материал, температурно-влажностное поле, вычислительный эксперимент, косой дождь, эксплуатационная надежность, безотказность.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований является ограждающая конструкция, состоящая из капиллярно-пористых материалов, предметом исследования – нестационарные температурно-влажностные поля.

Цель работы: разработка метода расчета нестационарных температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях зданий и сооружений с учетом воздействий окружающей среды и капиллярно-пористых свойств материалов, позволяющего оценивать эксплуатационную надежность при проектировании этих конструкций.

Методика исследования основывается на общих принципах моделирования физических явлений с использованием ЭВМ и вычислительного эксперимента. Метод расчета основывается на фундаментальных законах сохранения энергии и массы, а также на зависимостях линейной теории упругости. Физический эксперимент выполнен в достаточно контролируемых лабораторных и натуральных условиях. Вычислительный эксперимент выполнен с помощью созданной компьютерной программы «ТВИНД».

Полученные результаты и их новизна. Разработан метод расчета нестационарных температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях с учетом воздействий окружающей среды. С помощью капиллярно-пористых свойств материала оценено влияние косого дождя на температурно-влажностное состояние ограждающих конструкций.

Разработан новый теоретически обоснованный метод определения коэффициента переноса жидкой влаги в капиллярно-пористых материалах, который является наименее трудоемким и не требующим применения дорогостоящей аппаратуры, т.к. использует данные о кинетике одномерного водопоглощения влаги.

Использование результатов. Разработанный метод расчета температурно-влажностного состояния строительных конструкций из капиллярно-пористых строительных материалов рекомендуется использовать в работах, связанных с определением показателей надежности и безотказности конструкций зданий и сооружений с точки зрения влагозащиты.

РЭЗІЮМЭ

Кафанаў Валерый Анатольевіч

Прагназаванне нестацыянарнага тэмпературна-вільготнаснага стану агароджваючых канструкцый з капілярна-порыстых матэрыялаў

Ключавыя словы: агароджваючая канструкцыя, капілярна-порысты матэрыял, тэмпературна-вільготнаснае поле, вылічальны эксперымент, касы дождж, эксплуатацыйная надзейнасць, безадмоўнасць.

Аб'ект і прадмет даследавання. Аб'ектам даследавання з'яўляецца агароджваючая канструкцыя, якая складаецца з капілярна-порыстых матэрыялаў, прадметам даследавання – нестацыянарныя тэмпературна-вільготнасныя палі.

Мэта работы: распрацоўка метаду разліку нестацыянарных тэмпературна-вільготнасных палёў у агароджваючых канструкцыях будынкаў і збудаванняў з улікам уздзеянняў навакольнага асяроддзя і капілярна-порыстых уласцівасцяў матэрыялаў, які дазваляе ацэньваць эксплуатацыйную надзейнасць пры прасктаванні гэтых канструкцый.

Методыка даследавання заснавана на агульных прынцыпах мадэлявання фізічных з'яў з выкарастаннем ЭВМ і разліковага эксперыменту. Метад разліку заснаваны на фундаментальных законах захавання энергіі і масы, а таксама на залежнасцях лінейнай тэорыі пругкасці. Фізічны эксперымент выкананы ў дастаткова кантралюемых лабараторных і натуральных умовах. Вылічальны эксперымент выкананы з дапамогай створанай камп'ютэрнай праграмы «ТВИНД».

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацаваны метады разліку нестацыянарных тэмпературна-вільготнасных палёў у агароджваючых канструкцыях з улікам уздзеянняў навакольнага асяроддзя. З дапамогай капілярна-порыстых уласцівасцяў матэрыялаў ацэнены ўплыў касога дажджу на тэмпературна-вільготнасны стан агароджваючых канструкцый.

Распрацаваны новы тэарэтычны абгрунтаваны метады вызначэння каэфіцыента пераносу вадкай вільгаці ў капілярна-порыстых матэрыялах, які з'яўляецца найменш працаёмкім і не патрабуе прымянення дарагой апаратуры, бо выкарыстоўвае дадзеныя аб кінэтыцы аднамернага водапаглынання вільгаці.

Выкарыстанне вынікаў. Распрацаваны метады разліку тэмпературна-вільготнаснага стану будаўнічых канструкцый з капілярна-порыстых матэрыялаў рэкамендуецца выкарыстоўваць у работах, звязаных з вызначэннем наказчыкаў надзейнасці і безадмоўнасці канструкцый будынкаў і збудаванняў з пункта погляду вільгацеаховы.

SUMMARY

Kofanov Valery

Forecasting of non-stationary temperature and humidity state in enclosing structures for capillary-porous materials

Keywords: enclosing structures, capillary-porous material, temperature-moisture field, computation experiment, wind-driven rain, use reliability, no-failure operation.

The object and the subject of the research. The object of the research is enclosing structures composed of capillary-porous materials; the subject of the research is non-steady temperature-moisture fields.

The aim of the work is the development of a calculation method of non-steady temperature-moisture fields in the enclosing structures of buildings and structures originating from effects of the environment, that takes into account capillary-porous properties of materials and allows to value the use reliability when designing these structures.

The method of study is based on common principles of simulation of physical phenomena using a computer and a computation experiment. The calculation method is based on the fundamental laws of energy and mass conservation, and also on linear theory of resiliency dependences. The physical experiment is executed in a rather monitored laboratory and full-scale conditions. The computation experiment is executed with the help of the created computer program «ТВИИД».

The obtained results and their novelty. A calculation method of non-steady temperature-moisture fields in the enclosing structures originating from effects of the environment is developed. With the help of capillary-porous material properties evaluated the influence of wind-driven rain on the temperature and humid condition in the enclosing structures.

A new theoretically grounded method for determining the coefficient of the liquid moisture transfer in capillary-porous materials is developed, which is the least labor-intensive and does not require the use of expensive equipment, as uses data on the kinetics of the one-dimensional water absorption of moisture.

The application of the results. The developed method of calculating temperature-moisture state of building structures from capillary-porous building materials is recommended to be utilized in operations, connected with the definition of reliability and no-failure operation indexes of structures of buildings and structures from the point of view of a damp-proofing.

Научное издание

КОФАНОВ
Валерий Анатольевич

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНО-
ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

по специальности

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Подписано к печати 13.11.2013 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».

Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1.4. Уч.-изд. л. 1.5. Тираж 90. Заказ № 1189.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Лицензия №02330/0549435 от 08.04.2009.