

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК [624.012.4 + 692.2] 001.18 : 620.1

КОФАНОВ
Валерий Анатольевич

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ
ПОЛЕЙ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Автореферат диссертации на соискание
учной степени кандидата технических наук

по специальности
05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения

Брест 2008

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: **Езерский Валерий Александрович**, член-корреспондент Международной Инженерной Академии, заслуженный инженер России, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры архитектуры и строительства зданий ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет».

Попков Юрий Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций Учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Оппонирующая организация: Научно-исследовательское и проектно-технологическое РУП «Институт НИПТИС».

Защита состоится « 13 » ноября 2008 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Совета по защите диссертаций К02.09.01 при Учреждении образования «Брестский государственный технический университет» по адресу: г. Брест, ул. Московская, 267, ауд. 323, телефон ученого секретаря (0162) 42-02-94.

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

Автореферат разослан « 08 » _____

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций К02.09.01,
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. В инженерных теплотехнических расчетах обычно используются упрощенные зависимости, основанные на уравнениях стационарного переноса тепла и пара, которые недостаточно полно учитывают действие окружающей среды и современные представления о механизмах перемещения влаги в капиллярно-пористых материалах.

В результате материалы запроектированных ограждающих конструкций зданий в процессе их строительства и эксплуатации находятся 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. Поэтому другим направлением развития метода расчета является более полный учет параметров поровой структуры материалов.

К сожалению, в нашей республике этим вопросам не уделяется должного внимания, и в нормах СНБ 2.04.01-97 «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 и сопутствующих им полей деформаций и напряжений 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 и связанных с ними напряженно-деформационных полей в материалах ограждающих конструкций зданий и сооружений, возникающих от температуры, относительной влажности окружающего воздуха и атмосферных осадков, который учитывает капиллярно-пористые свойства материалов и позволяет 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 механизмы и математические описания процессов тепломассообмена 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;
- проверить адекватность разработанной модели путем сопоставления результатов вычислительного и физического экспериментов, а также выявить ее способность выполнять основные для научно-технических исследований функции объяснения и прогнозирования;
- с помощью вычислительных экспериментов определить температурно-влажностные и напряженно-деформационные поля для ряда ограждающих конструкций от воздействий окружающей среды при различном начальном влагосодержании.

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

Положения, выносимые на защиту:

- новый метод совместного расчета нестационарных температурно-влажностных и связанных с ними напряженно-деформационных полей в

капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций от воздействий окружающей среды;

- разработанная математическая модель поглощения дождевой влаги поверхностным слоем ограждения с учетом капиллярно-пористых свойств материала, которая позволяет получать более достоверную информацию о температурно-влажностном состоянии ограждающих конструкций;
- описание взаимодействия процессов диффузии пара, поверхностной диффузии и капиллярного влагопереноса в капиллярно-пористых материалах;
- новые расчетные и экспериментальные данные, отражающие процесс диффузии пара в сорбирующей среде;
- расчетные данные температурно-влажностных и напряженно-деформационных полей в ограждающих конструкциях из конструкционно-теплоизоляционного пенобетона при различном начальном влагосодержании.

Личный вклад соискателя.

Диссертационная работа представляет собой самостоятельный труд соискателя, выполненный на кафедре строительной механики Учреждения 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.).

Опубликованность результатов.

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 6 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом – 2.9 авторских листа; из них 4 статьи по перечню ВАК, общим объемом – 2.1 авторских листа.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, представленной четырьмя главами, заключения, библиографического списка из 119 наименований и приложения.

Объем работы составляет 124 страницы, включая 86 страниц машинописного текста, 58 рисунков, 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава содержит два раздела, посвященных рассмотрению причин и последствий переувлажнения материалов ограждающих конструкций, а также развитию методов оценки температурно-влажностного и напряженно-деформированного состояний этих 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 способствует развитию в них всех видов коррозии, которая снижает эксплуатационные качества ограждающих конструкций. Процессы коррозии можно замедлить, только создав сухие условия эксплуатации конструкций. Для создания воздушно-сухих условий эксплуатации конструкций следует обеспечивать их влагозащитные свойства с учетом капиллярно-пористых свойств материалов и климатических воздействий.

В связи с этим необходимо разработать метод совместного расчета температурно-влажностного и напряженно-деформированного состояний 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 математическом моделировании нестационарных процессов тепломассопереноса.

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

Рассмотрена общая 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 перенос влаги может объясняться этими тремя механизмами. Для условного мезопористого материала на рисунке 1 показано наличие всех трех механизмов влагопереноса.

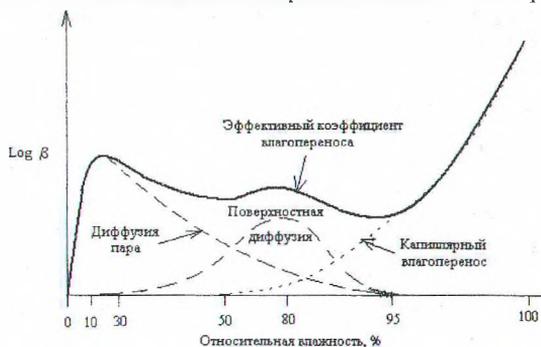


Рисунок 1 – Изменение эффективного коэффициента влагопереноса для гипотетического мезопористого материала

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 взаимно связаны между собой и при решении практических задач могут быть описаны одним и тем же дифференциальным уравнением Фурье, которое в обобщенном смысле является уравнением нестационарного поля любого потенциала переноса. Для расчета прямолинейных либо криволинейных в плане ограждающих конструкций использовалось дифференциальное уравнение теплопроводности, записанное в полярных координатах:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где t – температура в любой точке поля, °С;

τ – временная координата, ч;

$a = \lambda / (c \cdot \rho)$ – коэффициент температуропроводности материала, характеризующий скорость перераспределения температуры, м²/ч;

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

c – удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·°С);

ρ – плотность материала, кг/м³;

r – расстояние до точки от оси симметрии, м.

В случае диффузии водяного пара дифференциальное уравнение перемещения влаги имеет вид:

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} = \frac{\mu E_t}{\xi_0 \rho} \left(\frac{\partial^2 e}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial e}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где ω – влагосодержание, %;

e – упругость водяного пара, Па;

μ – коэффициент паропроницаемости, г/(м·ч·Па);

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

ξ_0 – удельная относительная пароемкость, г/кг.

Коэффициент паропроницаемости μ можно определить из соотношения:

$$\mu = f_s \cdot \mu_0, \quad (3)$$

где μ_0 – коэффициент переноса водяного пара в воздухе, г/(м·с·Па);

f_s – коэффициент структуры, учитывающий влияние структурных параметров порового пространства.

Перемещение жидкой влаги описывается уравнением влагопроводности:

$$\frac{\partial \omega}{\partial \tau} = \frac{\beta}{10\rho} \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \omega}{\partial r} \right), \quad (4)$$

где β – коэффициент влагопроводности материала, г/(м·ч·%);

10 – количество влаги, необходимое для повышения влагосодержания 1 кг материала на 1%, г/кг.

Процесс совместного переноса пара и жидкой влаги можно представить в виде:

$$10 \cdot \rho \cdot \frac{\partial \omega}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \left[\beta(\omega, t) \cdot \frac{\partial \omega}{\partial r} + \frac{1}{r} \right] + \left[\mu(\omega, t) \cdot \frac{\partial e}{\partial r} + \frac{1}{r} \right] \right\}. \quad (5)$$

Принимается, что такая ситуация для мезопористых материалов наблюдается при относительной влажности в порах материала 80% и выше.

Для численного решения дифференциальных уравнений (1), (2), (4), (5) 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 цилиндрическими стенками однородного материала, а также на стыке разнородных материалов.

Для учета влияния атмосферных осадков в виде дождя использована зависимость, описывающая процесс поглощения дождевой влаги капиллярно-пористым материалом. В этой зависимости коэффициент сорбции воды A характеризует явление капиллярного впитывания воды материалом. В качестве примера на рисунке 2 приведено типичное графическое представление процесса капиллярного впитывания воды материалом.

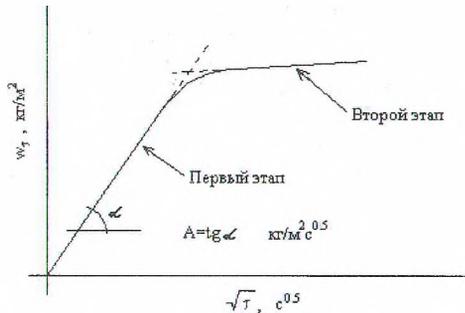


Рисунок 2 – Зависимость количества воды w_g , поглощенной сухим материалом толщиной d при одномерном капиллярном впитывании через единицу поверхности от времени t

Из рисунка 2 видно, что в рассмотренных координатах процесс увеличения влагосодержания образца с некоторыми погрешностями может быть описан уравнениями двух прямых, имеющих различные угловые коэффициенты и соответственно разделен на два основных этапа. На первом этапе происходит довольно быстрый процесс капиллярного впитывания, продолжительность которого зависит от высоты образца и может длиться от десятков секунд до нескольких часов и даже суток. После прекращения процесса капиллярного впитывания воды наблюдается очень медленное увеличение влагосодержания материала, что связано с растворением в воде воздуха из пор, которые не участвовали в процессе капиллярного впитывания воды.

На основе зависимости, описывающей процесс капиллярного впитывания на первом этапе, можно определить максимально возможный прирост влагосодержания в поверхностном элементарном слое $\Delta\omega_{max}$ во время дождя за промежуток времени $\Delta\tau$:

$$\Delta\omega_{max} = \frac{A \cdot 100\%}{d \cdot \rho} \cdot (\sqrt{\tau + \Delta\tau} - \sqrt{\tau}), \quad (6)$$

$$\tau = \left(\frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{A \cdot 100\%} \right)^2,$$

где A – коэффициент сорбции воды, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^{0.5})$;

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

τ – время, за которое сухой материал при постоянном контакте с водой достигнет влагосодержания ω , с;

$\Delta\tau$ – приращение времени впитывания, с.

Если принять, что все капли дождя попавшие на поверхность материала впитываются им, то прирост влагосодержания в поверхностном слое определяется по формуле:

$$\Delta\omega_g = \frac{g_{wv} \cdot \Delta\tau \cdot 100\%}{d \cdot \rho}, \quad (7)$$

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

$$g_{wv} = \kappa \cdot g_{wh}, \quad (8)$$

где 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, положение поверхности ограждения относительно поверхности земли и сторон света.

Фактический прирост влагосодержания определяется наименьшим значением из двух $\Delta\omega_{max}$ и $\Delta\omega_g$. При этом должны выполняться следующие соотношения:

$$\omega + \Delta\omega_{max} \leq \omega_f, \quad \text{если } \Delta\omega_{max} < \Delta\omega_g, \quad (9)$$

$$\omega + \Delta\omega_g \leq \omega_f, \quad \text{если } \Delta\omega_g < \Delta\omega_{max},$$

где ω_f – влагосодержание материала в состоянии капиллярного насыщения.

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:

$$\sigma_r = -E \frac{1}{r^2} \int_a^r (\alpha T + \beta \omega) r dr + \frac{E}{1-\nu^2} \left[C_1 (1+\nu) - C_2 (1-\nu) \frac{1}{r^2} \right], \quad (10)$$

$$\sigma_\theta = E \frac{1}{r^2} \int_a^r (\alpha T + \beta \omega) r dr - E(\alpha T + \beta \omega) + \frac{E}{1-\nu^2} \left[C_1 (1+\nu) + C_2 (1-\nu) \frac{1}{r^2} \right], \quad (11)$$

где E – модуль упругости, МПа;
 r – текущий радиус стены, м;
 α – коэффициент линейного температурного расширения, 1/град;
 β – коэффициент линейной влажностной усадки (набухания), 1/%;
 ν – коэффициент Пуассона;
 a – внутренний радиус стены, м;
 C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Представленное математическое описание реализовано в виде компьютерной программы на ЭВМ. 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 воспроизводить элементарные физические явления в строго заданных условиях.

В *третьей главе* разработанная модель была проверена 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 3. Из рисунка видно, что разработанная компьютерная модель в состоянии достаточно точно описывать процессы переноса влаги в капиллярно-пористом материале в жидкой и парообразной фазах.

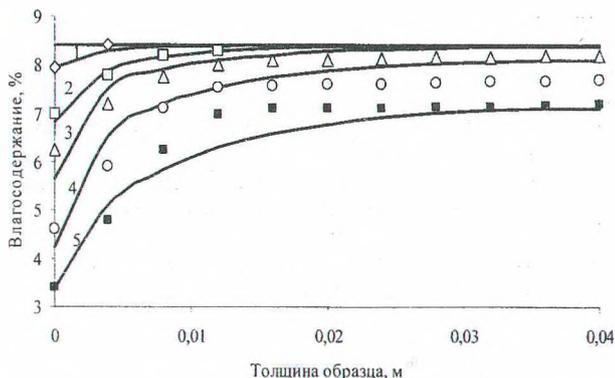


Рисунок 3 – Распределение расчетного влагосодержания по сечению образца в процессе сушки: 1 – через 1 ч; 2 – через 5 ч; 3 – через 12 ч; 4 – через 49 ч; 5 – через 240 ч и распределение по результатам опыта: \diamond – через 1 ч; \square – через 5 ч; Δ – через 12 ч; \circ – через 49 ч; \blacksquare – через 240 ч

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 влагопроводности.

На основе полученных полей влагосодержания определены поля деформаций и соответствующих им напряжений. Если известно значение предельных напряжений, то имеется возможность выполнить оценку 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. При этом коэффициент переноса водяного пара был определен по формуле (3), в которой коэффициент структуры определялся по известной зависимости:

$$f_s = \left\{ \frac{1}{2} + \sin \left[\frac{\arcsin(2 \cdot P - 1)}{3} \right] \right\}^2, \quad (12)$$

где P – доля объема открытых пор в единице объема материала.

Результаты расчетов и опытные данные, представленные на рисунке 4, достаточно хорошо описывают кинетику поглощения водяных паров зернистой средой.

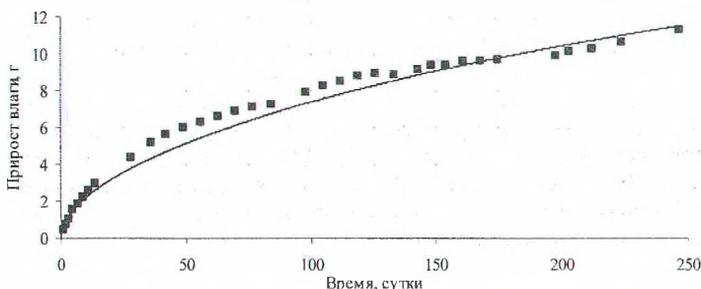


Рисунок 4 – Изменение влаги, поглощенной зернистой средой по опытным данным (точки) и вычисленной по математической модели (—)

В следующем примере рассмотрены результаты вычислительного и натурального экспериментов процесса влагопереноса в образцах из песчаника, находящихся в наружной стене под воздействием окружающей среды (в том числе и дождевых осадков). Результаты сопоставления расчетных и опытных данных показаны на рисунке 5. Из рисунка видно, что экспериментальные данные достаточно точно описываются кривой, построенной по расчетным данным, полученным как при коэффициенте k равном 1, так и при k равном 0.7.

При снижении переходного коэффициента k , учитывающего соотношение между количеством осадков на единице горизонтальной и вертикальной поверхностях, 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.

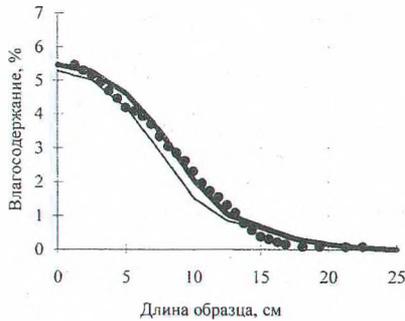


Рисунок 5 – Распределение влаги по длине образца по опытным данным ●●●● и вычисленным при коэффициенте $\kappa=1$ —, $\kappa=0.7$ — на восьмидесятый день

В конце главы показан способ определения относительной деформации в капиллярно-пористом материале в процессе его сушки с помощью изотермы сорбции либо десорбции, а также коэффициента линейной влажностной усадки.

Результаты физического эксперимента представлены на рисунке 6 в виде точек ■■■ для цементного камня и ◆◆◆ для обычного бетона. Сплошные ломаные линии построены по результатам расчета, в котором использовался коэффициент линейной влажностной усадки равный $\alpha_v=0,0003$ 1/% и данные, описывающие изотерму сорбции либо изотерму десорбции. Рассматривая совместно рисунки 6а и 6б, наиболее близкими к результатам физического эксперимента оказались результаты расчета, полученные при использовании изотермы десорбции.

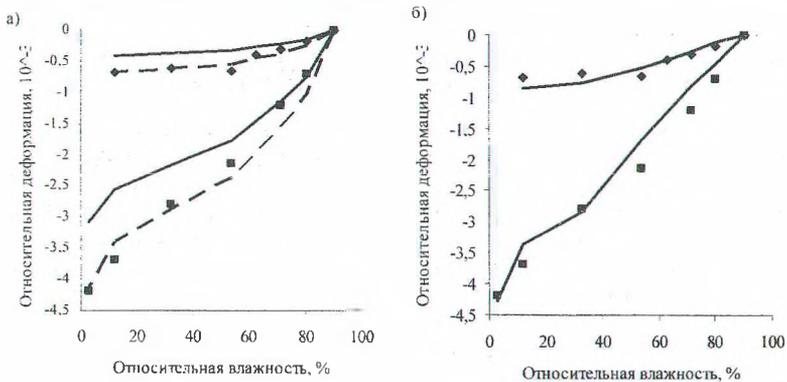


Рисунок 6 – Зависимости относительной деформации от относительной влажности воздуха, полученные с использованием изотермы сорбции (а) и изотермы десорбции (б)

Однако при расчете влажностных усадочных деформаций не всегда имеются данные по изотерме десорбции. Чаще всего в работах можно найти данные изотермы

сорбции материала. Рисунок 6а показывает, что определять влажностные усадочные деформации можно с помощью изотермы сорбции только с соответствующим коэффициентом линейной влажностной усадки.

На рисунке 6а пунктирная линия построена по результатам расчета относительной деформации, полученным с использованием изотермы сорбции и коэффициента линейной влажностной усадки. Значение этого коэффициента для цементного камня было принято 0,0004 1/%, а для обычного бетона – 0,0005 1/%.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что определение напряженно-деформированного состояния капиллярно-пористых материалов в большей степени зависит от вида изотермы сорбции (десорбции), коэффициента линейной влажностной усадки, характеристик упругости материала.

В *четвертой главе* рассматривается температурно-влажностное и напряженно-деформированное 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 пенобетонных 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 достигнут 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 (атмосферные осадки показаны на рисунке 7) основную долю дождевой влаги воспринимала штукатурка (рисунок 8 (—)). 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).

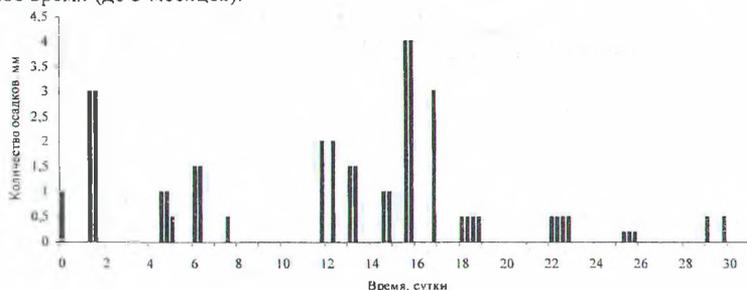


Рисунок 7 – Изменение количества осадков за июль месяц

Были также выполнены расчеты при толщине отделочного слоя 1 см и 4 см. Оказалось, что с увеличением толщины отделочного слоя на стыке материалов зна-

чение напряжений и их амплитуда уменьшаются. Следовательно, с увеличением толщины слоя покрытия адгезионная прочность будет сохраняться более длительное время, что подтверждается экспериментальной оценкой.

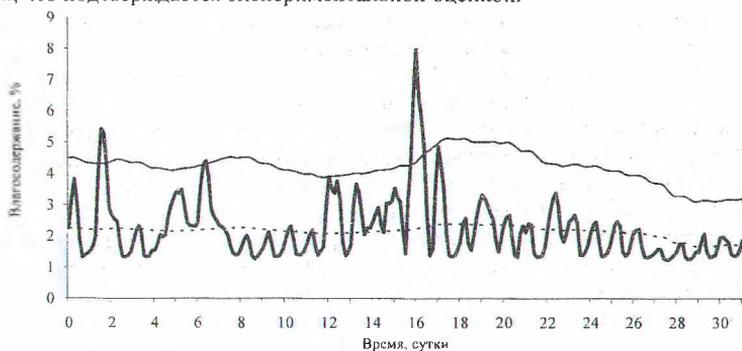


Рисунок 8 – Изменение влагосодержания в наружном (—) и внутреннем (.....) слое цементно-песчаного раствора толщиной 2 см, а также в приграничном (—) слое ячеистого бетона на стыке двух материалов на протяжении июля месяца с учетом дождя

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. Изменение влагосодержания утеплителя в период июля месяца показано на рисунке 9. При этом увлажнение происходит наиболее интенсивнее, чем высыхание.

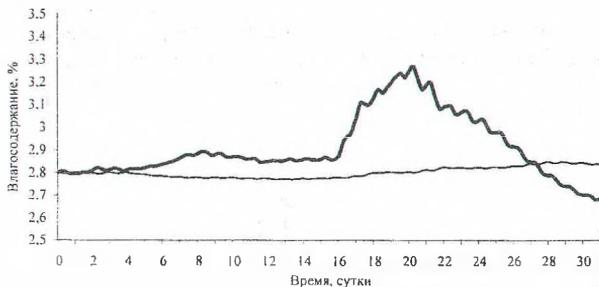


Рисунок 9 – Изменение влагосодержания в слое утеплителя на границе с защитно-отделочным слоем (—) и на границе с пенобетонными блоками (—) на протяжении июля месяца с учетом дождя

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 СНБ 2.04.01-97 считается, что эксплуатационные свойства ограждающих конструкций обеспечиваются на основе обязательных расчетов по сопротивлению теплопередаче и паропрооницанию. Вызывало интерес сравнение результатов 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 нормальную влажность. Толщина слоя из пенобетона принята равной 36 см, толщина слоя штукатурки – 2 см.

По результатам теплотехнического расчета, в котором учитывались климатические условия Брестской области, данная конструкция удовлетворяет требованиям СНБ 2.04.01-97 по теплозащите. Влажностный расчет этими нормами не предусмотрен. Выполненный расчет влажностного состояния по немецким нормам DIN 4108 показывает, что в плоскости возможной конденсации образуется конденсационная влага, которая испаряется в период летних месяцев.

Результаты расчета, полученные с помощью разработанного метода и представленные на рисунке 10, показывают, что среднее значение влагосодержания пенобетона через год увеличится и превысит начальное влагосодержание в 3 раза. В течение последующих двух лет тенденция влагонакопления сохранится.

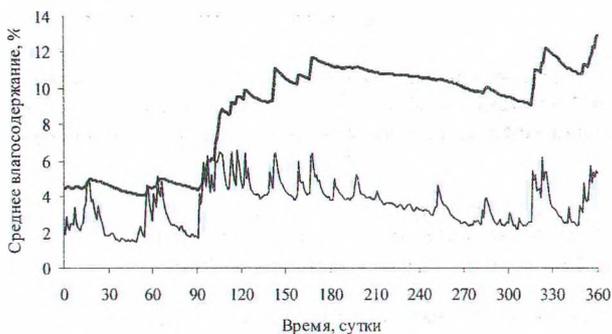


Рисунок 10 – Изменение среднего значения влагосодержания в наружном штукатурном слое (—) и пенобетонных блоках (—)

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?

После возведения несущей части стены пенобетонные блоки содержат в себе большое количество влаги вследствие «мокрого» технологического процесса. Влаго-

содержание 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 11 (жирная линия), продолжительность высыхания такой конструкции составляет два года. К такому же выводу приводят результаты, полученные инженерными методами (точки на рисунке 11).

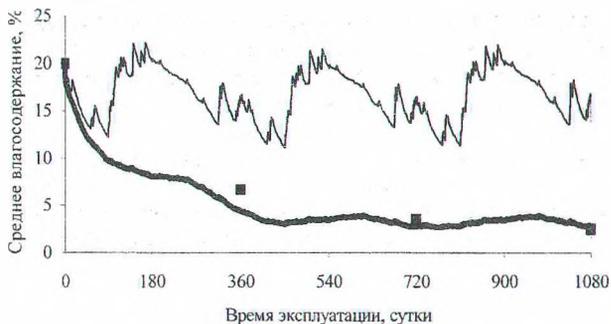


Рисунок 11 – Изменение среднего значения влагосодержания в стенке из ячеистого бетона толщиной 30 см, вычисленного инженерным методом (точки) и с помощью разработанной программы с учетом (—) и без учета (—) дождевых осадков

С учетом воздействия атмосферных осадков в виде дождя среднее значение влагосодержания пенобетонных блоков, показанное на рисунке 11 (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 11) будут совпадать с результатами, полученными с помощью разработанного метода.

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 12). 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.

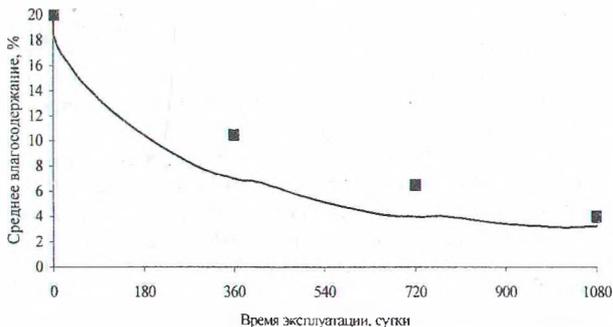


Рисунок 12 – Изменение среднего значения влагосодержания в стене из ячеистого бетона толщиной 30 см (с наружным слоем пенопласта и штукатурки), вычисленного с помощью разработанной программы с учетом дождевых осадков (—) и инженерным методом (точки) без их учета

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 11 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 соответствовать нормальной влажности (4,8%) (рисунок 12). При таком конструктивном решении значительная часть влаги испаряется из пенобетонных блоков внутрь помещения (рисунок 13), что негативно сказывается на санитарно-гигиеническом состоянии этих помещений в начальный период эксплуатации.

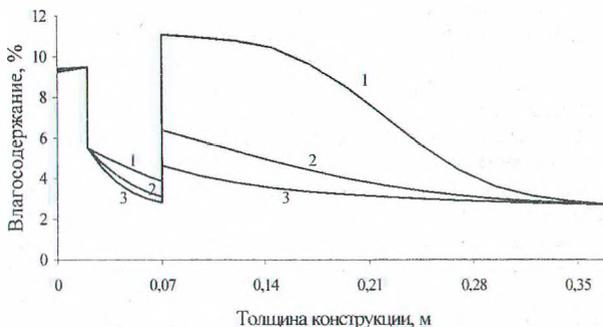


Рисунок 13 – Распределение влагосодержания по толщине слоистой ограждающей конструкции через один (1), два (2) и три (3) года эксплуатации

Разработанный метод можно также использовать для принятия решений по вопросам, связанным с понижением температуры теплоносителей, периодическим отключением подачи тепла в организациях и т.п. На примерах показано, что снижение температуры в помещении на 6-8°C может вызвать образование конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Для принятия научно-обоснованных проектных решений, основанных на прогнозировании температурно-влажностного состояния материалов ограждающих конструкций от реальных воздействий окружающей среды необходимо нормировать эти воздействия. Опираясь на накопленный опыт расчетов, а также на ряд работ, можно в качестве нормируемых воздействий окружающей среды использовать т.н. Типовой Метеорологический Год (ТМГ).

Типовой Метеорологический Год представляет собой совокупность различных воздействий окружающей среды: температура воздуха, относительная влажность воздуха, количество осадков, количество солнечной радиации, направление и сила ветра.

Используя разработанный метод расчета, а также ТМГ, можно прогнозировать температурно-влажностное и напряженно-деформированное состояния материалов ограждающих конструкций в течение заданного периода эксплуатации.

Для учета атмосферных осадков в виде дождя необходимо иметь значение коэффициента сорбции воды для наружного слоя материала ограждающей конструкции. В связи с этим в строительных нормах коэффициент сорбции воды должен быть определен и нормирован для каждого материала.

Нормирование климатических условий наружного воздуха и коэффициента сорбции воды позволит повысить точность расчета температурно-влажностного состояния капиллярно-пористых материалов ограждающих конструкций и на его основе выбрать надежные с точки зрения влагозащиты конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан метод совместного расчета нестационарных температурно-влажностных полей и связанных с ними напряженно-деформационных полей в материалах ограждающих конструкций зданий и сооружений, возникающих от воздействия температуры, относительной влажности окружающего воздуха и атмосферных осадков, базирующийся на законах сохранения энергии и массы, а также на зависимостях линейной теории упругости, позволяющий оценивать эксплуатационную надежность при проектировании этих конструкций с точки зрения влагозащиты [1, 4, 6, 10, 11].
2. 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. При этом коэффициент парной корреляции между опытными и расчетными данными находился в диапазоне от 0,97 до 0,99 [3, 7, 8].

3. Впервые при расчете нестационарных температурно-влажностных полей в материалах ограждающих конструкций учтено воздействие атмосферных осадков в виде дождя, оказывающее существенное влияние на их влажностное состояние. Сравнительными расчетами показано, что при учете атмосферных осадков в виде дождя влагосодержание материалов ограждающих конструкций может возрастать до 5 раз [3, 4, 5, 7, 11].
4. 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, изотерм сорбции и характеристик пористости, которые для одного и того же материала варьируются в очень широком диапазоне. Для повышения точности расчета для этих случайных параметров необходимо задавать их статистические характеристики [2, 3, 10].
5. Вычислительный эксперимент, выполненный с использованием разработанной модели, показал, что в поверхностных элементарных слоях конструкций могут возникать температурно-влажностные деформации, приводящие к появлению напряжений, превышающих предельные значения для конкретного материала, и, как следствие, к отказу этого слоя по прочности [4, 6, 7, 11].
6. 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 в последствии 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 необходимо устраивать вентилируемые фасады или использовать жесткие пенопласты, которые обладают хорошей тепло- и гидроизоляционной способностью [4, 5, 6, 11].

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 выполнении расчетов необходимо использовать данные о типовом метеорологическом годе, представляющем собой совокупность различных воздействий окружающей среды (температура, относительная влажность, количество дождевых осадков). Кроме того, рекомендуется использовать разработанную программу при проектировании и эксплуатации холодильных и нагревательных установок, трубопроводов и т.п.
2. Рекомендуется использовать метод расчета при совершенствовании строительных норм проектирования СНБ 2.04.01-97 «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 влагозащиты.
5. Использование результатов работы будет способствовать позитивному решению не только указанных задач, но и одновременно решению задач по оценке долговечности ограждающих конструкций.

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 БГТУ. – 2004. – №1. Сер. стр-во и арх. – 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 БГТУ. – 2004. – №2. Сер. 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 // Вестник БГТУ. Стр-во и арх. – 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: В 2 ч. – 2004. – Ч. 2. – С. 253-256.
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 БГТУ. – 2005. – №2. Сер. стр-во и арх. – С. 25-29.
5. Кофанов, В.А. Анализ тепловлажностных воздействий на трехслойную ограждающую конструкцию / В.А. Кофанов // Вестник БГТУ. – 2005. – №3. Сер. водохозяйственное стр-во и теплоэнергетика – 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 БГТУ. – 2006. – №1. Сер. стр-во и арх. – С. 100-104.

Тезисы и материалы конференций

9. Кофанов, В.А. Температурно-влажностные напряжения в материале ограждающей конструкции / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Актуальные проблемы прочности: сб. тез. XLIII Междунар. конф., Витебск, 27 сен. - 1 окт. 2004 г.: в 2 ч. / Витеб. гос. технол. ун-в. – Витебск, 2004. – Ч. 2. – С. 207.
10. 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.
11. 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.

РЭЗІЮМЭ

Кафанаў Валерый Анатольевіч

Прагназаванне тэмпературна-вільготнасных палёў у агароджваючых канструкцыях пад уплывам навакольнага асяроддзя

Ключавыя словы: агароджваючая канструкцыя, капілярна-порысты матэрыял, тэмпература, адносная вільготнасць, атмасферныя ападкі, тэмпературна-вільготнаснае поле, напружана-дэфармацыйнае поле, эксплуатацыйная надзейнасць, безадмоўнасць.

Аб'ект і прадмет даследавання. Аб'ектам даследаванняў 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 і звязаных з імі напружана-дэфармацыйных палёў у матэрыялах агароджваючых канструкцый будынкаў і збудаванняў, якія ўзнікаюць ад тэмпературы, адноснай вільготнасці навакольнага паветра, атмасферных ападкаў, які ўлічвае капілярна-порыстыя ўласцівасці матэрыялаў і дазваляе ацэньваць эксплуатацыйную надзейнасць пры праектаванні 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.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны метады сумеснага разліку тэмпературна-вільготнасных і напружана-дэфармацыйных палёў, упершыню з дапамогай матэматычнай мадэлі паглынання дажджавой вільгаці паверхневым пластам агароджы з улікам капілярна-порыстых ўласцівасцяў матэрыялу ацэнены уплыў атмасферных ападкаў у выглядзе дажджу на тэмпературна-вільготнасны і напружана-дэфармаваны стан агароджваючых канструкцый.

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

РЕЗЮМЕ

Кофанов Валерий Анатольевич

Прогнозирование температурно-влажностных полей в ограждающих конструкциях от воздействий окружающей среды

Ключевые слова: ограждающая конструкция, капиллярно-пористый материал, температура, относительная влажность, атмосферные осадки, температурно-влажностное поле, напряженно-деформационное поле, 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 и связанных с ними напряженно-деформационных полей в материалах ограждающих конструкций зданий и сооружений, возникающих от температуры, относительной влажности окружающего воздуха и атмосферных осадков, который учитывает капиллярно-пористые свойства материалов и позволяет 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.

Полученные результаты и их новизна: разработан метод совместного расчета температурно-влажностных и напряженно-деформационных полей, впервые с помощью математической модели поглощения дождевой влаги поверхностным слоем ограждения с учетом капиллярно-пористых свойств материала оценено влияние атмосферных осадков в виде дождя на температурно-влажностное и напряженно-деформированное состояния ограждающих конструкций.

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.

SUMMARY

Kofanov Valery

Forecasting of temperature-moisture fields in enclosing structures from environmental effects

Keywords: enclosing structures, capillary-porous material, temperature, relative humidity, precipitations, temperature-moisture field, stress-strain field, 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 and connected with them stress-strain fields in the materials of enclosing structures of buildings and structures originating from temperature, relative humidity of ambient air and precipitations, 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.

The obtained results and their novelty: a method of joint calculation of temperature-moisture and stress-strain of fields is developed, for the first time with the help of a mathematical model of absorbing rain moisture by the surface coat of the enclosure taking into account capillary-porous properties of the material, the effect of precipitations in the form of rain on temperature-moisture and stress-strain state of enclosing structures is estimated.

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.

офанов Валерий Анатольевич

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ
ПОЛЕЙ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

по специальности
05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

Подписано к печати 02.10.2008 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Снегурочка».

Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5.

Тираж 80 экз. Заказ № 971.

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

Лицензия ЛП № 02330/0148711 от 30.04.2004.

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