

ГОССТРОЙ СССР
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи

КУЗЬМИЧ Петр Михайлович

УДК 69.022.326:69.022.9:539.217

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАРУЖНЫХ ЛЕГКИХ
ОГРАЖДЕНИЙ С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ
ФЕНОЛЬНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

Специальность 05.23.10 - Здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-1989

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте
строительной физики Госстроя СССР

- Научный руководитель - кандидат технических наук,
ст.н.с.
КРОТОВ А.П.
- Научный консультант - кандидат экономических наук,
профессор
ВАРЕЖКИН В.А.
- Официальные оппоненты- доктор технических наук,
ст.н.с.
САВИН В.К.
- кандидат технических наук,
доцент
ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ А.Г.
- Ведущая организация - ЦНИИпроектлегконструкция

Защита состоит " " _____ 1989 г. в ____ ч.
на заседании специализированного совета Д 033.10.01 при Научно-
исследовательском институте строительной физики Госстроя СССР
по адресу: 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИСФ.

Автореферат разослан " " _____ 1989 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

М.И.Краснов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Легкие ограждающие конструкции с применением пластмасс нашли широкое применение при строительстве производственных и общественных зданий, а также для контейнерных и сборно-разборных инвентарных зданий. Опыт применения таких конструкций показал не только их высокую эффективность, но и существенные эксплуатационные недостатки. Наличие теплопроводных включений из металла в виде болтов, ребер жесткости и бортовых соединительных элементов может быть причиной выпадения конденсата на внутренней поверхности конструкции. В летнее время возможен перегрев помещений, зимой - снижение температуры внутренней поверхности ниже допустимой. Некоторые утеплители на основе пенопластов горючи, дефицитны или дороги, что ограничивает область их применения.

В настоящее время наибольшее распространение получили трехслойные металлические панели, выпускаемые по непрерывной или стеновой технологии и панели с неметаллическими обшивками. Предпринимаются попытки применения двухслойных панелей с металлическим листом, расположенным с наружной стороны. Однако, при применении таких панелей существует опасность накопления влаги в зимний период эксплуатации.

Из всей гаммы пенопластов для ограждающих конструкций наиболее перспективны фенолформальдегидные. Одним из основных преимуществ этих пенопластов является повышенная огнестойкость, отсутствие вредных выделений в процессе эксплуатации. Но ограждающим конструкциям с этими утеплителями также присущ ряд недостатков, сдерживающих их применение.

Цель диссертации состояла в определении основных направлений повышения эффективности и улучшения теплофизических и технико-экономических характеристик наружных легких ограждающих конструкций с утеплителем на основе фенольных пенопластов.

В соответствии с поставленной целью в диссертации решены следующие задачи:

- определены рациональные типы наружных легких ограждающих конструкций с утеплителем на основе фенольных пенопластов;
- изучены теплофизические характеристики трехслойных панелей с металлическими перфорированными обрамлениями;
- разработана методика оценки теплофизической эффективности перфорированных обрамлений в трехслойных панелях;
- усовершенствован метод расчета влажностного режима ограждающих конструкций с высокопористыми утеплителями на основе фенольных пенопластов;
- изучен температурно-влажностный режим двухслойных ограждающих конструкций с паронепроницаемой наружной обшивкой;
- изучены сорбционные характеристики и паропроницаемость утеплителей на основе фенольных пенопластов;
- разработана методика и проведена экономическая оценка технических решений по повышению эффективности легких ограждающих конструкций с утеплителем из фенольных пенопластов.

Научная новизна работы:

- выявлены тенденции развития и определены основные направления совершенствования легких ограждающих конструкций;
- установлены основные закономерности изменения теплотехнических свойств трехслойных панелей с металлическими перфорированными обрамлениями;

- выявлены основные закономерности влагопереноса в высокопористых утеплителях;

- установлен основной фактор и предложена модель влажностного состояния двухслойной ограждающей конструкции с паронепроницаемой наружной обшивкой;

- выявлены некоторые особенности, влияющие на точность определения текущих затрат по легким ограждающим конструкциям.

Практическая ценность работы:

- разработан метод теплотехнического расчета трехслойных панелей с обрамлениями, имеющими перфорации различных форм и размеров;

- усовершенствован метод расчета влажностного режима ограждающих конструкций с высокопористыми утеплителями;

- разработана конструкция двухслойной стеновой панели с перфорированной наружной металлической обшивкой, способствующей быстрому высыханию утеплителя при положительных температурах и исключаящей проникновение атмосферной влаги в тело утеплителя;

- определена экономическая эффективность применения перфорированных обрамлений в трехслойных панелях и двухслойных ограждающих конструкций с учетом изменения сопротивления теплопередаче последних в процессе эксплуатации;

- предложен метод расчета коэффициента теплотехнической однородности по температурным полям полученным экспериментально или из расчетов на ЭВМ, позволяющий повысить точность определения приведенных термического сопротивления и сопротивления теплопередаче.

Внедрение результатов работы.

На основе результатов экспериментальных исследований разре-

ботаны "Рекомендации по улучшению температурно-влажностного режима стыковых соединений ограждающих конструкций" представленные в отчете НИИОФ по научно-исследовательской работе "Исследовать температурно-влажностный режим ограждающих конструкций с новыми типами герметизирующих прокладок в стыках для зданий объектов нефтяной и газовой промышленности и выдать рекомендации по улучшению их теплозащитных свойств", которые направлены ЭКБ по железобетону Миннефтегазстроя СССР.

Указанные рекомендации применены в процессе проектирования зданий производственного назначения для объектов нефтяной и газовой промышленности.

Практические предложения, представленные в "Рекомендациях по улучшению теплозащитных свойств металлопенлопастовых панелей" внедрены на ДСК-160. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения упомянутых рекомендаций составляет 419,1 тыс.руб.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на:

- пятой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов ЦНИИПромзданий (г.Москва, 1986 г.);
- XIY и XUY научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава (г.Брест, Брестский инженерно-строительный институт, 1986г., 1987 г.);
- IY научно-технической конференции молодых специалистов Научно-исследовательского института строительной физики Госстроя СССР "Актуальные вопросы строительной физики" (г.Москва, 1987 г.);
- Республиканской научно-технической конференции "Снижение материалоемкости и энергоемкости, повышение технологичности в сельском строительстве" (г.Брест, 1987 г.).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в пяти

печатных работах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованной литературы (141 наименование) и приложений.

Общий объем работы 179 страниц, из них 27 иллюстраций, машинописный текст, включая таблицы, занимает 152 страницы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обобщен опыт применения в строительстве легких ограждающих конструкций, определены пути совершенствования и направления развития их, проведен анализ работ по теме и определен круг задач, решаемых в работе.

Во второй главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований одного из перспективных способов повышения эффективности металлических обрамлений трехслойных стеновых панелей.

Температурное поле перфорированного обрамления описывается уравнением Лапласа:

$$\nabla^2 \tau = 0. \quad (1)$$

Но так как теплопроводность утеплителя пренебрежительно мала по сравнению с теплопроводностью металла, то можно принять, что теплообмен между утеплителем и обрамлением отсутствует, т.е.:

$$\lambda \frac{\partial \tau}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \quad \text{и} \quad \lambda \frac{\partial \tau}{\partial z} \Big|_{z=\delta} = 0. \quad (2)$$

Тогда задача сводится к решению уравнения для двумерной области:

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} = 0, \quad (3)$$

при следующих допущениях и граничных условиях (рис. I):

- пластина тонкая, бесконечна вдоль оси X и ограничена вдоль оси y ($-b, b$);
- соблюдается условие симметрии температурного поля относительно сечения $X = 0$;
- поток тепла по нормали к контуру отверстия отсутствует, т.е.:

$$\lambda \frac{\partial \tau}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = 0. \quad (4)$$

- температуры на внутренней ($y = b$) и наружной гранях ($y = -b$) равны, соответственно, τ_b и τ_n .

Расчетная схема обрамления с круглой перфорацией

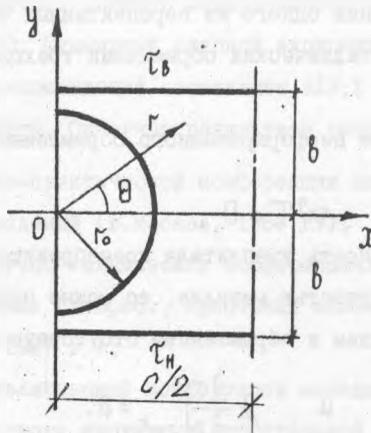


Рис. I

В результате получено уравнение температурного поля пластины шириной $2b$ с круглой перфорацией радиусом r_0 :

$$\tau(x, y) = \frac{\tau_b + \tau_n}{2} + \frac{\tau_b - \tau_n}{2b} \left[\frac{y + r_0^2 \cdot y / (x^2 + y^2)}{1 + r_0^2 / (x^2 + b^2)} \right]. \quad (5)$$

Используя (5), получено выражение для определения потока тепла через перфорированную пластину:

$$\Pi = \lambda \frac{\tau_a - \tau_n}{2b} \left[c - r_0 - \frac{r_0^2 \cdot b^2}{r_0^2 + b^2} \left[\frac{1}{c} - \frac{1}{r_0} + \frac{1}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{arctg}(c/\sqrt{r_0^2 + b^2}) - \operatorname{arctg}(r_0/\sqrt{r_0^2 + b^2}) \right] \right]. \quad (6)$$

Выражение для определения потока тепла через неперфорированную пластину, имеющую эквивалентное термическое сопротивление, имеет вид:

$$\Pi_0 = \lambda \frac{\tau_a - \tau_n}{2b} c. \quad (7)$$

Сопоставив (6) и (7), найдено выражение для определения коэффициента приведения термического сопротивления перфорированного обрамления шириной $2b$ с круглой перфорацией радиуса r_0 :

$$\gamma = \frac{1}{c} \left[c - r_0 - \frac{r_0^2 \cdot b^2}{r_0^2 + b^2} \left[\frac{1}{c} - \frac{1}{r_0} + \frac{1}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \left(\operatorname{arctg} \frac{c}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} - \operatorname{arctg} \frac{r_0}{\sqrt{r_0^2 + b^2}} \right) \right] \right]. \quad (8)$$

Выражение для определения коэффициента приведения термического сопротивления металлического обрамления с многорядной круглой перфорацией получено на основе предыдущего и имеет вид:

$$\gamma' = \frac{b \cdot \gamma}{\delta \cdot \gamma + n \cdot \delta_n / 2}. \quad (9)$$

Для определения коэффициентов приведения термических сопротивлений обрамлений с прямоугольной одно- и многорядной перфорациями получены следующие выражения:

$$\text{однорядная} \quad \gamma'_n = \frac{1}{1 - b_0/b \left[1 - c/(c-a) \right]}; \quad (10)$$

$$\text{многорядная} \quad \gamma''_n = \frac{2b \cdot \gamma_n}{\delta \cdot \gamma_n (1+n) + n \cdot \delta_n}, \quad (11)$$

где $\gamma_n = 1 - a/c$.

С целью оценки полученных выражений (8,10), ряд коэффициентов приведения термических сопротивлений металлических перфорированных обрамлений определен с использованием этих выражений и по результатам расчетов температурных полей на ЭВМ. В результате

проведенного сопоставительного анализа установлены следующие ограничения по применению выражения (8) в зависимости от параметров τ_0/b и τ_0/c : τ_0/c не должно превышать 0,8 при условии, что τ_0/b меньше 0,92; если же τ_0/b больше 0,92, то τ_0/c не может быть менее 0,52. Из этого следует, что в пределах значений τ_0/c больше 0,52, но меньше 0,8 можно определять при любых значениях τ_0/b .

Для прямоугольной перфорации в зависимости от параметров a/b и a/c и в случае, когда $b_0 = a$, установлены следующие ограничения: при a/b меньшем 0,9 a/c должно быть меньше 0,82. В пределах значений a/c больше 0,5, но меньше 0,82 коэффициент приведения γ_n^1 можно определять при любых значениях a/b . Если же a/b будет больше 0,90, то a/c не может быть меньше 0,5.

Соблюдение указанных ограничений обеспечивает отклонение значений коэффициентов приведения определяемых по формулам (8) и (10), от значений определенных по результатам расчета температурных полей не более, чем на 25%.

Разработана конструкция и проведены теплотехнические исследования стыковых соединений фрагментов трехслойных панелей с двумя типами обрамлений: перфорированным и сплошным неперфорированным. Одновременно выполнен расчет температурных полей внутренней и наружной обшивок в зоне стыка трехслойных панелей с перфорированными металлическими обрамлениями. Термическое сопротивление металлического обрамления определено по формуле $R_{пр} = R / \gamma_n^1$. При этом приведенное термическое сопротивление панели равно $0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Термическое сопротивление панели, определенное на основе температурных полей, полученных экспериментально, равно $0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Таким образом, расхождение составляет 3,6%, что подтверждает возможность применения предлагаемой методики определения коэффициента приведения термического сопротивления металлического перфорированного об-

рамления.

В третьей главе проведен анализ теоретических основ влагопереноса и методов расчета влажностного режима ограждающих конструкций. Одним из основных недостатков этих методов является их универсальность, то есть отсутствие ограничений по их применению для определенного класса материалов. Из всех известных методов наиболее тщательному анализу был подвергнут метод последовательного увлажнения. При этом выявлены некоторые несоответствия результатов расчета по этому методу результатам экспериментальных исследований влажностного режима двухслойных ограждающих конструкций с паронепроницаемой наружной обшивкой. Поэтому для расчета влажностного режима ограждающих конструкций с высокопористыми утеплителями разработан метод, в основу которого положено предположение о диффузии водяного пара в воздухе пор утеплителя, как основном механизме влагопереноса. Предлагаемый метод расчета влажностного режима ограждающих конструкций с высокопористыми утеплителями разработан с учетом следующих обстоятельств:

- рассматривается одномерная задача, считая определяющим процесс переноса влаги по толщине ограждающей конструкции;
- изменение влажности воздуха в порах материала влечет за собой изменение сорбционного влагосодержания, определяемое по зависимости сорбции от времени;
- при влажности воздуха в порах материала превышающей максимальную абсолютную влажность для данной температуры избыток влаги конденсируется;
- при влагосодержании материала, превышающем максимальную сорбционную и влажности воздуха в порах меньшей, чем максимальная абсолютная влажность, недостаток влаги восполняется испарением ранее выпавшей в конденсат.

При реализации метода в основу положено решение дифференциального уравнения параболического типа с частными производными второго порядка. Коэффициент массопереноса, учитывающий процесс сорбции, определяется по следующей формуле:

$$a(t, \omega) = \frac{M_{\text{в03}} \cdot \gamma_{\text{в03}}}{M_{\text{в}} \cdot \rho_0} d \frac{P_t}{\gamma \cdot d\omega/d\zeta}, \quad (12)$$

где d - коэффициент диффузии водяного пара в воздухе пор высокопористого материала, определяемый по формуле:

$$d = M \cdot 0.1506 \left(T/T_0 \right)^{1.81}. \quad (13)$$

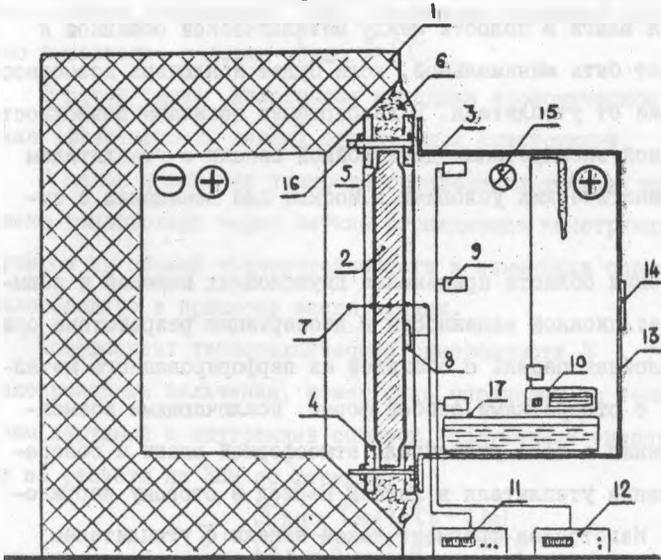
В результате решения уравнения находится влажность воздуха в порах материала в последующий расчетный момент времени $\zeta_{n, \tau+1}$. В дальнейшем определение массового отношения влаги в n -ом слое высокопористого утеплителя в $\zeta + 1$ расчетный момент времени осуществляется по алгоритму, составленному с учетом вышеизложенного. Разработана программа расчета влажностного режима ограждающих конструкций с высокопористыми утеплителями и на ЭВМ выполнен расчет влажностного состояния двухслойной панели с утеплителем ПСФ-ВНИИСТ. Полученные результаты имеют удовлетворительную сходимость с данными экспериментальных исследований.

В четвертой главе изложена методика и проведен анализ результатов экспериментальных исследований температурно-влажностного режима двухслойных ограждающих конструкций с паронепроницаемой наружной обшивкой и утеплителем на основе фенольных пенопластов (Виларес-400А, ПСФ-ВНИИСТ, перлитопластбетон) в условиях зимнего и летнего температурно-влажностного режимов. Исследования проводились на специальной установке (рис. 2).

Параметры исследований определены на основе предложенной модели влажностного состояния двухслойной ограждающей конструкции:

$$\begin{aligned} (P_{\text{в}} - P_t) \cdot Z_3 &= (P'_{\text{в}} - P'_t) \cdot Z_4, \\ (P_t - P_{\text{в}}) \cdot Z_{\Lambda} &= (P'_t - P'_{\text{в}}) \cdot Z_{\Sigma}. \end{aligned} \quad (14)$$

Экспериментальная установка для исследования температурно-влажностного режима фрагментов ограждения



1-климатическая камера, 2-фрагмент ограждения, 3-камера, 4-рамка, 5-герметик, 6-теплоизоляция, 7-термопары, 8-термометр, 9-датчик влажности, 10-теповентилятор в комплекте с контактным термометром и реле, 11-милливольтметр, 12-влажномер В 4-34, 13-смотровое окно, 14-задвижка для регулирования влажности, 15-осветительная лампочка, 16-стяжной болт, 17-ванночка с водой.

Рис. 2

Для установления температуры сушки, первоначально влагосодержание некоторых проб утеплителя ПСФ-ВНИИСТ определено на дериватографе Q -1500. На основании чего принята температура сушки 60°C.

Проведены экспериментальные исследования влажностного режима двухслойных ограждающих конструкций с металлической обшивкой и

утеплителями Виларес-400А, ПСФ-ВНИИСТ и перлитопластобетон.

В результате проведенных исследований установлено, что опасность накопления влаги в полости между металлической обшивкой и утеплителем может быть минимальной, если будет исключена возможность отслоения обшивки от утеплителя. В диссертации показана возможность удовлетворительной эксплуатации двухслойной панели с утеплителем ПСФ-ВНИИСТ в климатических условиях г.Москвы для помещений с сухим режимом.

Для расширения области применения двухслойных панелей и повышения их эксплуатационной надежности в диссертации разработана оригинальная двухслойная панель с обшивкой из перфорированного металлического листа с отверстиями особой формы, исключающими возможность проникновения в тело утеплителя атмосферной влаги и обеспечивающими высыхание утеплителя в летний период в сторону наружного воздуха /5/. Изготовлен фрагмент такой панели с утеплителем ПСФ-ВНИИСТ и проведены исследования температурно-влажностного режима. В результате проведенных исследований установлено, что наличие отверстий не влияет на накопление влаги в зимний период эксплуатации. В летний период эксплуатации происходит уменьшение среднего массового отношения влаги в начальный период на 0,02 в то время, как в панели без отверстий в начале перехода на летний период эксплуатации продолжает увеличиваться среднее значение массового отношения влаги. Значение максимального массового отношения влаги уменьшается в 3.1 раза, а в панели без отверстий только в 1.9 раза. Тем самым в панели с отверстиями в металлической обшивке обеспечивается удаление влаги из утеплителя в 1.2 раза быстрее, чем в панели без таких отверстий.

Установлено требование, которое следует учитывать при назна-

чении расстояния между отверстиями b_{\max} :

$$b_{\max} \leq 0.5\sqrt{3} \cdot \delta_{\text{ут.}} \quad (15)$$

Если толщина утеплителя $\delta_{\text{ут.}}$ превышает величину $(16/3) \cdot l^2$ допустимо выполнение условия $b_{\max} \geq 2l$.

В пятой главе излагается методика экономической оценки повышения эффективности легких ограждающих конструкций.

С целью повышения точности определения текущих издержек, предложено теплопотери через легкие ограждающие конструкции определять с учетом их низкой теплоустойчивости и изменения сопротивления теплопередаче в процессе эксплуатации.

Коэффициент теплотехнической однородности Z , учитывающий теплопроводные включения, может быть определен по температурным полям наружной и внутренней обшивок, полученным экспериментально или из расчета на ЭВМ по формуле:

$$Z = \frac{(\tau_{\text{вср.}} - \tau_{\text{нсп.}})(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в0}})}{(t_{\text{в}} - \tau_{\text{вср.}})(\tau_{\text{в0}} - \tau_{\text{н0}})} \quad (16)$$

На основе данной методики определена экономическая эффективность от реализации исследованных мероприятий по совершенствованию легких ограждающих конструкций: применения перфорированных обрамлений в трехслойных панелях и двухслойных панелей вместо трехслойных.

Экономический эффект от создания и использования 50 тыс. м² трехслойных панелей с перфорированными обрамлениями составляет 72 тыс. руб. Он получен в сфере эксплуатации за счет снижения теплопотерь с учетом дополнительных капитальных вложений в сфере производства перфорированных обрамлений.

Годовой экономический эффект от применения 70 тыс. м² двухслойных панелей вместо трехслойных со стальными обшивками составляет 7,1 тыс. руб., с алюминиевыми обшивками - 30,3 тыс. руб. Основная

доля в этом эффекте достигнута за счет экономии металла. При этом учитывалось увеличение текущих затрат на возмещение теплопотерь в связи с уменьшением термического сопротивления двухслойной панели вызванное увеличением влагосодержания утеплителя в отопительный период.

Ряд совершенствований ограждающих конструкций основан на замене отдельных элементов. В этом случае нет необходимости подвергать экономическому исследованию всю ограждающую конструкцию, а достаточно сопоставить затраты по заменяемым элементам. Используя разработанную на основе предлагаемого подхода методику, определен наиболее экономичный тип стального перфорированного обрамления для трехслойной панели толщиной 145 мм.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что фенольные пенопласты, наиболее перспективными из которых являются ПСФ-ВНИИСТ и перлитопластбетон, являются вполне конкурентноспособными при использовании их в качестве утеплителей в ограждающих конструкциях.

2. Существенно повысить эффективность и эксплуатационную надежность промышленных легких ограждающих конструкций с утеплителем на основе фенольных пенопластов можно путем применения перфорированных обрамлений, а также применения двухслойных панелей со специальной перфорацией наружной обшивки.

3. При проектировании наружных ограждающих конструкций теплофизические расчеты целесообразно проводить с использованием методик, разработанных в диссертации.

4. Установлено, что основным механизмом влагопереноса, учитываемым структуру высокопористых утеплителей, необходимость че-

го выявлена в результате анализа существующих методов расчета влажностного режима ограждающих конструкций, является диффузия водяного пара в воздухе пор материала. Данное обстоятельство положено в основу разработанного метода расчета влажностного режима ограждающих конструкций с высокопористыми утеплителями.

5. Доказана возможность применения двухслойных ограждающих конструкций с паронепроницаемой наружной обшивкой на основе проведенных по предложенной методике исследований температурно-влажностного режима и с учетом результатов расчетов на ЭВМ влажностного режима. Установлено, что опасность накопления влаги в слое утеплителя, граничащем с металлической обшивкой может быть минимальной, если исключить возможность отслоения последней от утеплителя.

6. Условия эксплуатации, при которых не будет происходить влагонакопление за годовой период в утеплителе двухслойных ограждающих конструкций с паронепроницаемой наружной обшивкой следует определять на основе результатов экспериментальных исследований температурно-влажностного режима по разработанной методике расчета баланса эксплуатационной влаги.

7. Повысить теплоизоляционные свойства и эксплуатационную надежность двухслойных ограждающих конструкций можно, применив в качестве наружной обшивки перфорированный металлический лист, обеспечивающий удаление влаги в летний период в сторону наружного воздуха, с отверстиями особой формы, исключающими проникновение атмосферной влаги в тело утеплителя. Разработана конструкция такой панели и даны рекомендации по определению расстояний между отверстиями.

8. Установлено, что применение двухслойных панелей с алюминиевой обшивкой обеспечит экономию приведенных затрат в сумме

3.03 руб. на 1 м^2 за весь срок эксплуатации, со стальной обшивкой 0.71 руб. на 1 м^2 ; применение перфорированного обрамления в трехслойной панели толщиной 0.145 даст экономию в сумме 1.60 руб. на 1 м^2 за весь период эксплуатации. При определении текущих затрат по легким ограждающим конструкциям коэффициент теплотехнической однородности следует определять по предложенной формуле.

9. Наиболее рациональное решение отдельных конструктивных элементов, обеспечивающее минимизацию приведенных затрат, целесообразно определять, воспользовавшись предложенным методом поэлементного определения экономической эффективности совершенствования ограждающих конструкций, не прибегая при этом к исследованию конструкции в целом. Установлено, что для панели толщиной 0.145 м наиболее экономично стальное перфорированное обрамление толщиной 1 мм с радиусом перфорации 50 мм и шагом 51.5 мм.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Благодославов Ю.Б., Кротов А.П., Кузьмич П.М. Совершенствование теплотехнических качеств легких металлических панелей с перфорированным обрамлением // Теплоизоляция зданий: Сборник трудов НИИ строительной физики - М.: НИИОФ, 1986. - с. 40-48.

2. Кузьмич П.М. Влажностный режим двухслойных металлопеностальных панелей // Теплоизоляция зданий: Сборник трудов НИИ строительной физики - М.: НИИОФ, 1986. - с. 151-157.

3. Кузьмич П.М., Жук В.В. Повышение эффективности трехслойных панелей перфорацией металлических обрамлений // Снижение материало- и энергоемкости, повышение технологичности в сельском строительстве: Тезисы докладов научно-технической конференции. Брест, 26-27 мая

мая 1987 г. - Мн., 1987. - с. 46-47.

4. Кузьмич П.М. Особенности определения текущих затрат по малоинерционным наружным ограждающим конструкциям // Снижение материало- и энергоемкости, повышение технологичности в сельском строительстве: Тезисы докладов научно-технической конференции. Брест, 26-27 мая 1987 г. - Мн., 1987. - с. 68-69.

5. Кротов А.П., Кузьмич П.М. Стеновая панель. Авторское свидетельство СССР № 1320362, Е 04 С 2/46, Бюл. № 24, 1987.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $T(x, y)$ - температура в любой точке обрамления с круглым отверстием /оси X и Y проходят через центр отверстия, а ось X является одновременно осью симметрии обрамления/, °C
- $T_{в}$ и $T_{н}$ - температура на внутренней и наружной гранях обрамления, соответственно, °C
- b - полуширина обрамления, м
- b_0 - полуширина обрамления в пределах перфорированной зоны, м
- r_0 - радиус отверстия, м
- a - половина ширины прямоугольного отверстия, м
- c - полушаг перфорации, м
- δ - ширина неперфорированной части обрамления, м
- $\delta_п$ - ширина перфорированной части обрамления, м
- n - число рядов перфорации
- $M_{воз}$ - молекулярная масса воздуха, г/моль
- $M_в$ - молекулярная масса воды, г/моль
- $\gamma_{воз}$ - плотность воздуха, кг/м³
- P_0 - атмосферное давление, Па
- P_1 - максимальная упругость водяного пара, Па

γ - плотность материала, кг/м³

d_w/d_f - относительная пароемкость, кг/кг

T - температура, К

ρ_B - упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па

M - коэффициент паропроницаемости материала, мг/(м·час·Па)

l - ширина прорези, м

$T_{вср}$ и $T_{нсп}$ - усредненная температура внутренней и наружной поверхностей, соответственно, °С

$T_{в0}$ и $T_{н0}$ - температура внутренней и наружной поверхностей для участков, где исключено влияние теплопроводных включений, °С

Z_3 и $Z_л$ - продолжительность зимнего и летнего периодов, соответственно

$Z_{yч}$ и Z_t - продолжительность испытаний по "зимнему" и "летнему" режимам, соответственно.

Handwritten signature
Handwritten signature