

Министерство высшего и среднего специального
образования БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А.Н. МОГИЛАТ

кандидат технических наук, доцент

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛНОСЕРНЫХ НАРУЖНЫХ СТЕН
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

(05.482. Теплогазоснабжение, газоснаб-
жение и вентиляция).

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Минск 1970

Министерство высшего и среднего специального
образования БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. Н. МОГЯЛАТ

кандидат технических наук, доцент

ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛНОСБОРНЫХ НАРУЖНЫХ СТЕН
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

(05. 482. Теплогазоснабжение, газоснаб-
жение и вентиляция).

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Минск 1970

Работа выполнена в лаборатории строительной физики
Полтавского инженерно-строительного института в 1964-1970 годах.

Официальные оппоненты:

Член корр.АН БССР, доктор технических
наук, профессор Смольский Б.М.
Доктор технических наук, профессор
Лсбаев Б.Н.
Доктор технических наук, профессор
Тёмкин А.Г.

Ведущее предприятие - ЦНИЭП жилища, Москва.

Автореферат разослан _____ 1970 года № _____.
повторно в связи с дополнениями, внесенными в работу.

Защита диссертации состоится в феврале 1971 г. на заседа-
нии ученого Совета ордена Трудового Красного Знамени Белорус-
ского политехнического института.

О дне защиты будет объявлено в газете "Вечерний Минск".
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.
Отзывы и замечания просим направлять по адресу:
г.Минск, 27, Ленинский пр.,65.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

И.С. КАЧАН

Введение

В Советском Союзе в массовом гражданском строительстве все большее распространение находят крупнопанельные дома, для которых коренным образом меняется характер ограждающих конструкций, в первую очередь стен и покрытий.

Конструктивной особенностью современных жилых домов высотой 9 этажей и выше является применение внутренних поперечных стен и самонесущих или навесных панелей в наружных стенах. Крупные панели широко применяются и для стен промышленных зданий.

В качестве теплоизоляции в ограждающих конструкциях зданий применяются: легкие и ячеистые бетоны, минераловатные плиты и другие эффективные материалы.

В связи с повсеместным внедрением полносборного облегченного строительства вопросы физико-технических качеств ограждений приобретают исключительно большое значение.

Применение тонкостенных облегченных панелей стен в различных климатических условиях требуют тщательного изучения теплозащитных и тепловлажностных их качеств и в частности при воздействии на них солнечной радиации.

Действующие в настоящее время строительные нормы и правила СНиП П-А.7-62, как это доказано исследованием, не могут быть использованы для расчета теплоустойчивости современных облегченных наружных стен при воздействии солнечной радиации.

Поэтому основной целью настоящего исследования является разработка обобщенного метода теплотехнического расчета и его научного обоснования в части теплоустойчивости современных облегченных стеновых ограждений при воздействии на них солнечной радиации.

В первой главе диссертации приведен анализ факторов, влияющих на величину солнечной радиации: высота стояния солнца, продолжительность дня, температурные условия, особенности облачности, влажность воздуха, ветер, свойства поверхностей ограждений и другие.

Приводятся суммарные величины радиации на территории Украины. Показано, что одним из главных физико-технических требований, предъявляемых к зданиям, находящимся в условиях жаркого климата, является теплоустойчивость наружных ограждений. Мерой теплоустойчивости может служить необходимое сопротивление теплопередаче ограждения, при котором колебания температуры на внутренней его поверхности не должны превышать для зимних условий $\pm 3^{\circ}\text{C}$, для летних $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Впервые исследованиями распространения плоских тепловых волн и теплоустойчивости занимался проф. О.Е.Власов. Разработанные им в 1927 году теоретические положения нашли применение в практике проектирования и строительства. В 1934 году Г.А.Селиверстов решил весьма сложную задачу затухания тепловых волн в стене. Этот метод не нашел применения в практике проектирования и строительства.

В 1939 году С.Н.Муромов в работе по теплоустойчивости ограждений дает методы расчета температурных колебаний воздуха в стене конечной толщины, а также сдвиг фаз температурных колебаний. Эта работа дала возможность решать задачи теплоустойчивости стен холодильников.

В 1939 году В.Д.Мачинский излагает некоторые вопросы теплоустойчивости ограждений на основе теории теплоустойчивости О.Е.Власова.

Теплоустойчивостью занимался и профессор Л.А. Семенов, используя теорию теплоустойчивости О.Е.Власова. Л.А.Семенов предложил формулы для определения амплитуды колебаний температуры воздуха в зимнее время в отапливаемых помещениях.

А.М.Шкловер используя гиперболические функции комплексного переменного, получил решение вопроса о величине затухания температурных колебаний в ограждениях, а также о сдвиге фаз колебаний в отдельных слоях. Этот метод не получил широкого применения вследствие его сложности. Для практических расчетов им предложены приближенные формулы.

Расчеты температурного поля в многослойных стенах, а также теплопередачи в ограждающих конструкциях выполнены к.т.н.И.П.Жук в институте тепломассообмена АНБССР под руководством А.В.Дыкова и Б.М. Смольского.

Вопросами теплоустойчивости занимались также К.Ф.Фокин, Б.Ф. Васильев, В.М. Мачинский, В.Н. Богословский и др.

Для обеспечения необходимой теплоустойчивости легких конструкций стен при полносборном строительстве необходимо значительно увеличить их термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче по сравнению с сопротивлением теплопередаче, рассчитанным на зимние расчетные температуры.

Поскольку массивность стен при применении легких конструкций невелика, то температура внутренней их поверхности изменяется в три-четыре раза быстрее по сравнению с массивными стенами. Однако применение массивных стен неэкономично. Ввиду этого, для легких ограждений в условиях жаркого климата следует широко применять легкие крупнопанельные стены с необходимой степенью теплоустойчивости.

Наиболее эффективны в этом отношении ограждения с вентилируемой воздушной прослойкой, а также замкнутой воздушной прослойкой с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги.

Несмотря на наличие большого количества исследований по теплоустойчивости наружных ограждений, к сожалению приемлемых методов теплотехнических расчетов легких ограждений не имеется. В связи с этим в настоящей работе автор поставил перед собой следующие задачи:

1) Определить расчетным путем изменения колебаний температуры и тепловых потоков, в зависимости от воздействия солнечной радиации, в обычных массивных стенах, легких сплошных стенах, а также стенах с воздушными прослойками.

2) Определить в лабораторных условиях теплофизические параметры материалов и теплозащитные качества легких стен.

3) Экспериментально и в натуральных условиях исследовать изменение колебаний температуры от воздействия солнечной радиации в легких крупнопанельных навесных стенах, изготовленных из эффективных материалов.

4) Выявить влияние отражательной теплоизоляции на теплоустойчивость легких стен при воздействии солнечной радиации.

5) Предложить обобщенный метод теплотехнического расчета легких стеновых ограждений при воздействии радиационного тепла.

Во второй главе приведены результаты исследований затухания колебаний температуры в наружных ограждениях в зависимости от температуры и солнечной радиации.

В южных районах СССР в летнее время большое влияние на теплотехнический режим зданий оказывает солнечная радиация. При недостаточной защите ограждений от солнечной радиации температура воздуха в помещениях значительно повышается. Особенно значительное воздействие солнечной радиации на здания с легкими наружными ограждениями.

Как следует из указаний СНиП^а, толщину утеплителя во всех случаях, независимо от результатов, полученных по формулам, следует принимать увеличенной не более чем в 1,5 раза, сравнительно с толщиной, которая получается по зимним условиям.

Для легких ограждений это положение СНиП^а является неоправданным.

Расчетами по методике существующих норм амплитуда колебания температуры на внутренней поверхности составляет $\pm 2^{\circ}\text{C}$ для стен с $R_0 = 1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}$.

В действительности результаты исследования показали, что амплитуда колебания температуры на внутренней поверхности легких наружных стен / при $R_0 = 1,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}$ /, составляет $\pm 5^{\circ}\text{C}$ т.е. в 2,5 раза больше, чем по методу, который рекомендован СНиП^{ом}.

В третьей главе диссертационной работы изложена методика экспериментального исследования теплозащитных качеств наружных стен и их теплоустойчивости от воздействия радиационного тепла.

Вследствие широкого внедрения в практику строительства полносборных элементов с использованием многослойных ограждений, очень важно для оценки физико-технических качеств знать теплозащитные свойства ограждающих конструкций в натуральную величину по толщине.

Для экспериментального исследования была создана лабораторная установка, позволявшая исследовать теплозащитные свойства образцов стен, размером 1,5 x 1,5 м. и толщиной от 3 до 50 см. (рис. I).

Исследуемый образец стены помещался между двумя теплообменниками с компенсаторами.

В теплообменниках (100 x 100 см.) и компенсаторах (150 x 150 см.) находится вода с разной температурой.

В теплообменнике и компенсаторе с одной стороны циркулирует вода с температурой 50°C. Постоянство температуры воды обеспечивается термостатом с автоматическим регулированием температуры.

В теплообменник и компенсатор с другой стороны подается вода из водопровода через напорный бак, что создает постоянство температуры воды и напора.

Создавая посредством горячей и холодной воды температурный перепад до 40°C, измеряем по расходу воды за единицу времени тепловой поток.

К началу испытания конструкция во всей своей толще имела одинаковую температуру, равную температуре внутренней поверхности. Эта температура принималась за исходную.

Во время проведения экспериментов температура наружной поверхности была доведена до расчетной величины для значений 36 °C, 42 °C; 53,5 °C.

СХЕМА УСТАНОВКИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

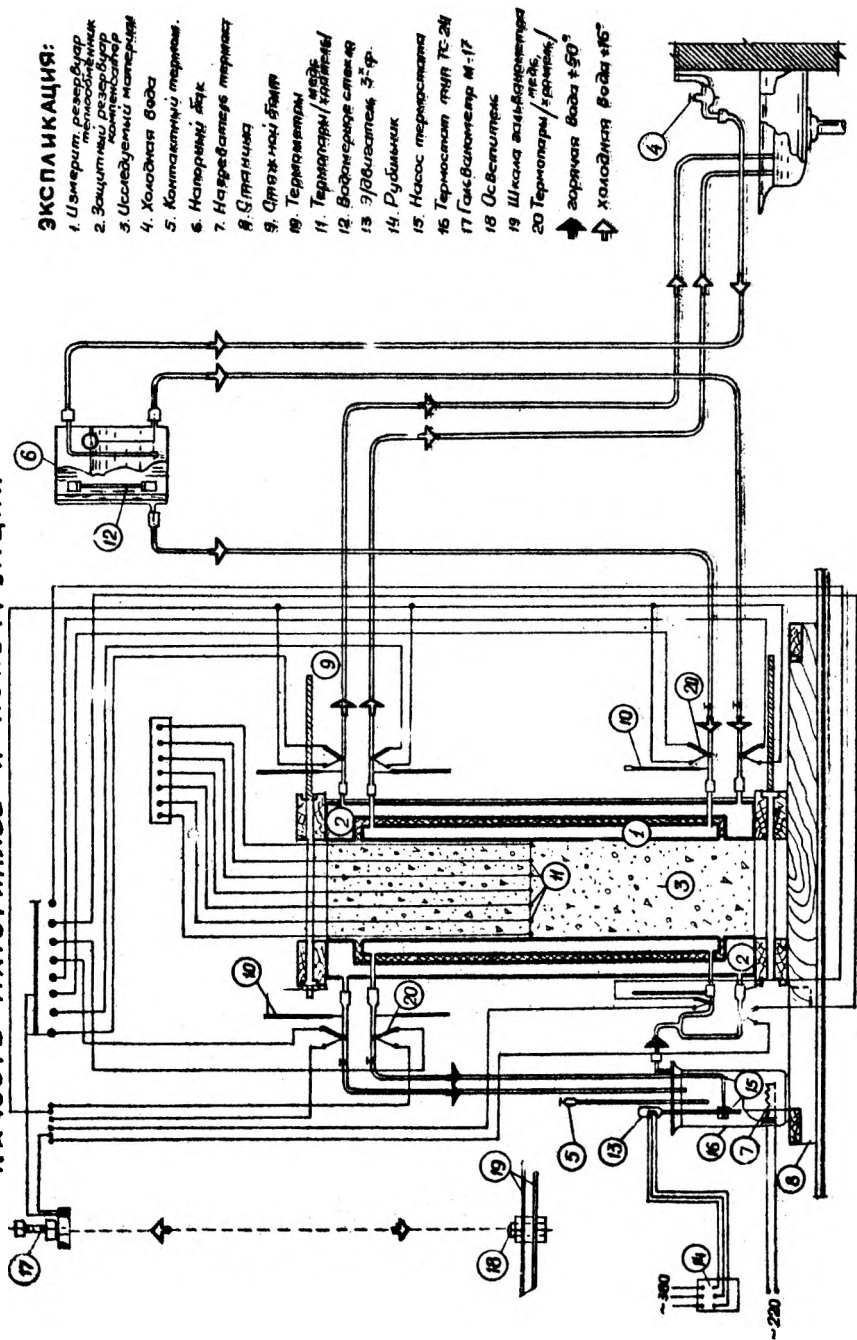


Рис. 1.

Постоянство температур в процессе измерения поддерживается потоком воды через теплообменник и компенсатор.

Для экспериментального исследования теплоустойчивости наружных ограждений было принято моделирование условий режима микроклимата, экспериментального павильона с помещениями жилых зданий.

В большинстве случаев конструкции легких ограждений состоят из одного теплоизолирующего слоя и двух наружных отделочных слоев, поэтому, как правило, переменной величиной оказывается толщина теплоизоляционных слоев, которая однозначно определяет физико-технические характеристики ограждения и, в частности, сопротивление теплопередаче.

Таким образом, для легких трехслойных ограждений, состоящих из двух отделочных слоев и одного теплоизоляционного слоя (минераловатные плиты, минеральный войлок и другие материалы), оказывается возможным рассматривать изменение температуры на внутренней поверхности стены при воздействии солнечной радиации как функцию от сопротивления теплопередаче стены.

Для общего случая все исследования по определению температуры внутренней поверхности стен при воздействии солнечной радиации для различных величин сопротивления теплопередаче проводились в течение расчетного времени воздействия солнечной радиации, в пределах которого достигаются практически постоянные/максимальные/ значения температур внутренней поверхности.

Как показали исследования, принятый метод дал возможность получить общее уравнение зависимости изменения температур на внутренней поверхности, определить с достаточной точностью повышение температуры внутренней поверхности наружных ограждений от воздействия радиационного тепла для заданной продолжительности его действия, а также найти требуемое сопротивление теплопередаче легких ограждений.

Измерение величины скорости воздуха в вентилируемых воздушных прослойках стен производилось при помощи электроанемометра, конструкции автора.

Принцип работы электроанемометра основан на явлении зависимости температуры нагреваемого тела от скорости воздушного потока, обдуваемого это тело. В качестве датчика было использовано в электроанемометре малогабаритное полупроводниковое микротермосопротивление длиной 3 мм и диаметром 0,5 мм.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена результатам экспериментальных и теоретических исследований теплозащитных качеств легких ограждений при воздействии солнечной радиации.

В результате экспериментального исследования определены величины термических сопротивлений, сопротивления тепловосприимчивости и теплоотдаче легких стен, выполненных из различных материалов.

Определены зависимости величины температуры внутренней поверхности от времени воздействия солнечной радиации при нестационарном тепловом режиме.

Результаты экспериментальных исследований позволили получить графики зависимостей температуры внутренней поверхности стен от времени воздействия солнечной радиации. Как доказано теоретически и экспериментально, эти графики (один из которых показан на рис.2) представляют собой кривую вида:

$$\tau_{\text{г}} = \kappa + \frac{m}{\sqrt{Z_a}}, \quad (1)$$

где. m и κ - коэффициенты, которые следует определить;

Z_a - время воздействия радиационного тепла от начала практического ощущения воздействия солнечной радиации наружных легких ограждений, Z ;

$Z_a = Z - 3$, где Z - время воздействия солнечной радиации на наружную поверхность, Z .

Для определения зависимости температуры внутренней поверхности наружных ограждений от времени воздействия солнечной радиации использован вариационный метод наименьших квадратов.

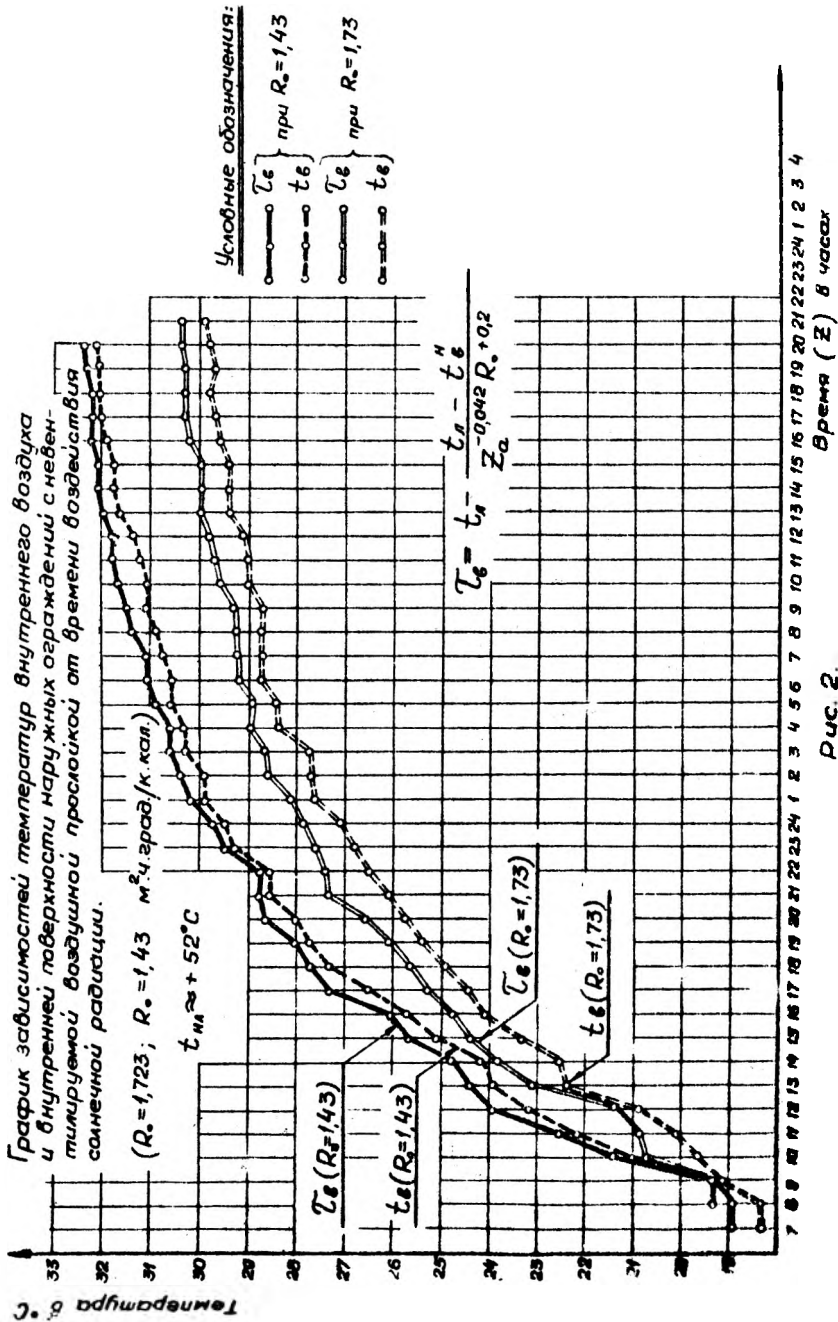


рис. 2.

Функция квадратурных отклонений для уравнения (1) будет:

$$f(k, m) = \sum_{i=1}^n \left(\tau_i^i - k - \frac{m}{\sqrt{Z_a}} \right)^2. \quad (2)$$

Исследуем функцию $f(k, m)$ на экстремум, необходимым условием которого является:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial k} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial m} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

После дифференцирования уравнения (2) и решения системы дифференциальных уравнений Гаусса при различных показателях корня ($n = 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12$) получим:

$$k = t_A; \quad m = -(t_A - t_0^n),$$

где t_A — летняя расчетная температура в градусах;

t_0^n — начальная температура внутреннего воздуха в градусах.

Таким образом, температура внутренней поверхности определяется по уравнению:

$$\tau_0 = t_A - \frac{t_A - t_0^n}{\sqrt{Z_a}}. \quad (4)$$

В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований получены аналитические зависимости изменения температур внутренней поверхности ограждений от времени воздействия радиационного тепла для трех видов ограждений при различных сопротивлениях теплопередаче:

для ограждения с $R_0 = 1,43 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}$.

$$\tau_0 = t_A - \frac{t_A - t_0^n}{\sqrt{Z_a}}; \quad (5)$$

для ограждения с $R_0 = 1,723 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} / \text{ккал}$.

$$\tau_0 = t_A - \frac{t_A - t_0^n}{\sqrt{Z_a}}; \quad (5a)$$

для ограждения с $R_o = 2,18 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{ккал}$.

$$\tau_b = t_a - \frac{t_a - t_b^n}{\sqrt[3]{Z_a}} \quad (56)$$

Из приведенных уравнений следует, что показатель корня изменяется в зависимости от сопротивления теплопередаче наружных ограждений.

Для определения зависимости между степенью корня Π и сопротивлением теплопередаче (R_o), применен вариационный метод наименьших квадратов и выполнено исследование системы дифференциальных уравнений, получено выражение:

$$\Pi = -0,042 R_o + 0,2 \quad (6)$$

Тогда, общее уравнение зависимости температуры внутренней поверхности наружных ограждений (τ_b) от времени воздействия солнечной радиации для легких стен без вентилируемой воздушной прослойки с различными значениями сопротивления теплопередаче будет:

$$\tau_b = t_a - \frac{t_a - t_b^n}{Z_a^{-0,042 R_o + 0,2}} \quad (7)$$

Если считать, что в уравнении (7) сопротивление теплопередаче требуемое (R_{tr}), то получим:

$$R_{tr} = \frac{\lg(t_a - \tau_b) - \lg(t_a - t_b^n) + 0,2 \lg Z_a}{0,042 \lg Z_a} \quad (8)$$

В результате выполненного экспериментального исследования определены расчетные летние наружные температуры (t_a):

$$t_a = t_a^n \cdot K_{\phi} \cdot K_{\psi}, \quad (9)$$

где t_a^n - расчетная нормативная температура в 13 часов самого жаркого месяца;

K_{ϕ} - коэффициент, учитывающий повышение температуры вблизи ограждения за счет теплопоглощения поверхностями и теплоотдачи этих поверхностей наружному воздуху. K_{ϕ} принимается от 1 до 1,2;

K_c - коэффициент, который учитывает изменение расчетной летней температуры за счет цвета поверхностей, определяемый по данным проведенного исследования.

В диссертационной работе исследован метод выбора температур внутренних поверхностей наружных ограждений, а также внутреннего воздуха с учетом величин температур поверхностей внутренних ограждений.

Экспериментально и теоретически определено влияние вентилируемых воздушных прослоек и теплоизоляции из алюминиевой фольги на теплоустойчивость легких ограждений и получены формулы для определения требуемого сопротивления теплопередаче:

для стен с вентилируемой воздушной прослойкой :

$$(R_o^{TP})_e = 2 R_o^{TP} - (R_o)' ; \quad (10)$$

где $R_o^{TP} = \frac{\lg(t_n - \tau_b) - \lg(t_n - t_b^H) + 0,2 \lg Z_a}{0,042 \lg Z_a} ; \quad (11)$

$$(R_o)' = \frac{\lg[0,3 Z_a^{0,2} \frac{t_n - \tau_b^H}{t_n - t_b^H} + 0,7 Z_a^{0,042 R_o^{TP}}]}{0,042 \lg Z_a} . \quad (12)$$

для стен с теплоизоляцией из алюминиевой фольги:

$$(R_o^{TP})_m = 2 R_o^{TP} - (R_o)' , \quad (13)$$

где $R_o^{TP} = \frac{\lg(t_n - \tau_b) - \lg(t_n - t_b^H) + 0,2 \lg Z_a}{0,042 \lg Z_a} ; \quad (14)$

и $(R_o)' = \frac{\lg[0,4 Z_a^{0,2} \frac{t_n - \tau_b^H}{t_n - t_b^H} + 0,6 Z_a^{0,042 R_o^{TP}}]}{0,042 \lg Z_a} . \quad (15)$

В результате выполненного исследования выявлено также влияние одновременного воздействия вентилируемых воздушных прослоек и теплоизоляции из алюминиевой фольги на теплоустойчивость легких стен и выведены формулы для их расчета.

На основании полученных формул построены графики, при помощи которых определяется требуемое сопротивление теплопередаче легких ограждений при воздействии на них солнечной радиации при различных климатических условиях. Два из таких графиков приведены на рисунках 3,4.

Выполнено аналитическое исследование теплоустойчивости наружных ограждений и сделано сопоставление с данными эксперимента.

Уравнение теплопроводности применительно к переносу тепла через наружные ограждения имеет вид :

$$\frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (16)$$

При аналитическом исследовании переноса тепла через наружные ограждения принят третий род краевых условий, который состоит в задании температуры среды, при этом задана температура воздуха по обе стороны ограждения и характер теплообмена на границах поверхностей стен и воздуха.

$$q(z) = \alpha \{ t(z) - t_e(\delta, z) \}. \quad (17)$$

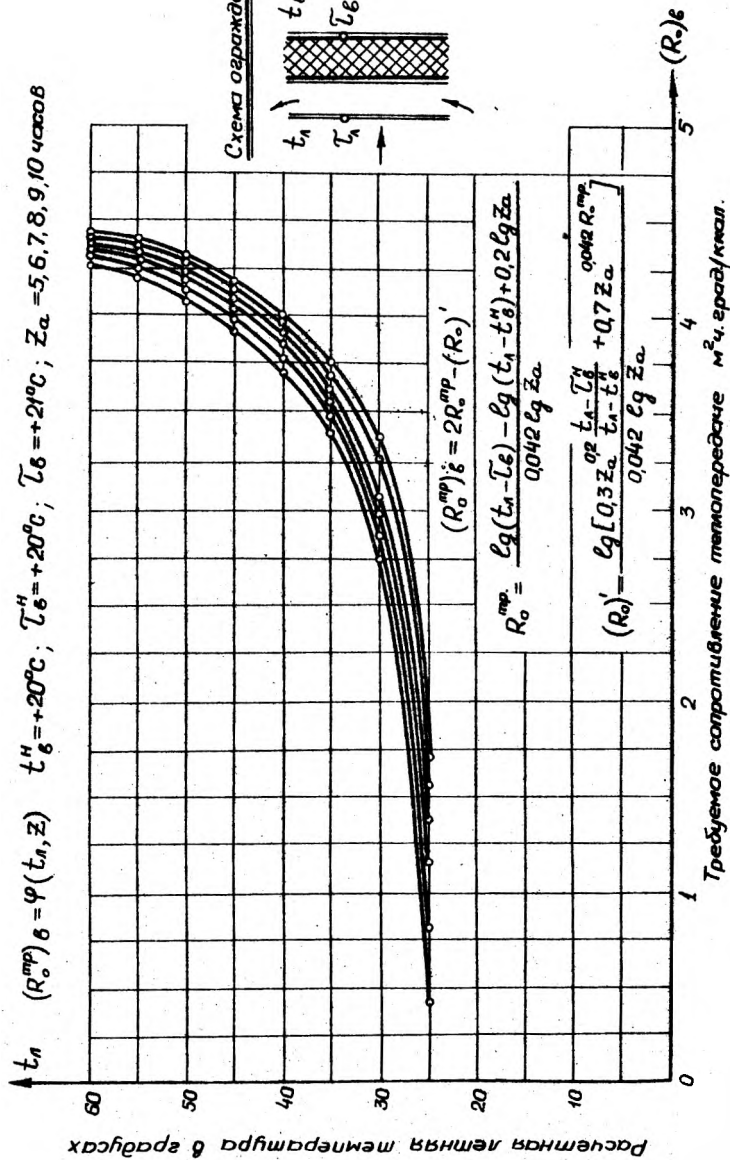
В нашем случае с небольшим приближением (ошибка не более 1%) можно исключить из уравнения (16) два последних члена, тогда:

$$\frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (18)$$

Таким образом, задача переноса тепла теплопроводностью через наружные ограждения здания определяется одномерным дифференциальным уравнением (18).

В решении задачи переноса тепла путем теплопроводности через плоскую стенку для определения температурного поля в ней, при воздействии солнечной радиации, приняты следующие граничные условия:

График зависимости расчетного сопротивления теплопередаче от расчетных летних наружных температур и времени воздействия солнечной радиации для легких наружных ограждений с вентилируемой воздушной прослойкой.



Proc. 4.

График зависимости расчетного общего сопротивления теплопередаче от расчетных летних наружных температур и времени воздействия солнечной радиации для легких наружных ограждений без вентилируемой воздушной прослойки.

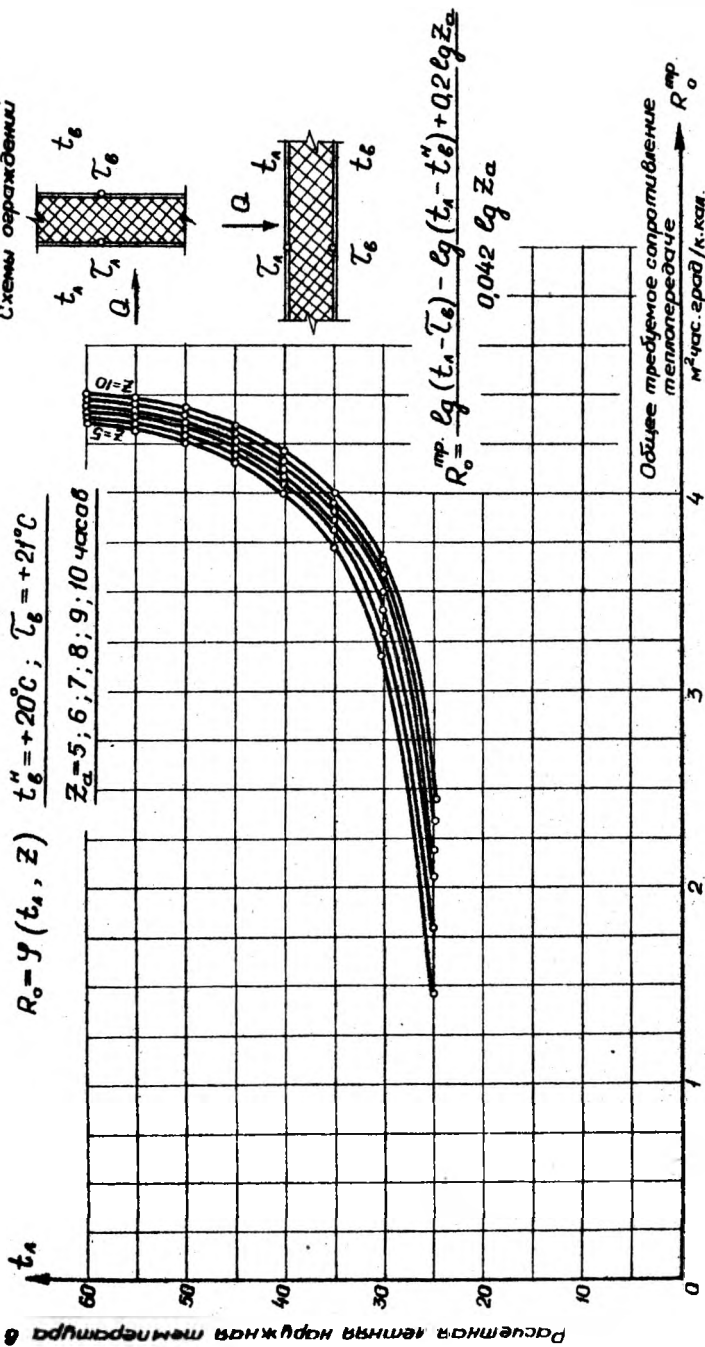


Рис. 3

I. Для начального момента времени $z=0$ принимаем $t=t_c$.

Для элемента поверхности

$$dq = \alpha (t - t_s) dz \quad (19)$$

$$\text{и } dq = -\lambda \frac{dt}{dx} dx. \quad (20)$$

Величина температуры внутренней поверхности наружных ограждений $[t_s, t_{(ср)}]$ начинает увеличиваться при воздействии солнечной радиации.

Температура наружного воздуха t_a принимается согласно СНиП II-A. 6-62, равной средней температуре в 13-00 часов самого жаркого месяца с учетом коэффициентов K_Φ и K_ψ , принимаемых по данным проведенного исследования.

Это дает возможность принять, для решения нашей задачи расчетную температуру наружного воздуха в теплый период года - постоянную.

Температурный перепад между температурой внутренней поверхности и внутреннего воздуха, по условиям теплоустойчивости, не должен превышать 2°C ; для упрощения задачи (по этому крайнему условию) температуру внутреннего воздуха помещений принимаем осредненной за сутки в пределах $23 + 2^\circ\text{C}$. Толщина наружных ограждений принимается постоянной для конкретных условий, а в общем случае зависит от климатических факторов.

Таким образом, исходя из обоснованных условий, характеризующих теплообмен через стену: коэффициент теплопроводности (λ), температуропроводности (α), толщина (δ), величина температуры наружного воздуха (t_a) и наличие воздействия на внешнюю поверхность солнечной радиации, весь процесс описывается уравнениями:

$$t_{x=\delta} = t_a; \quad \left(-\frac{\partial t}{\partial x} + ht\right)_{x=0} = ht_s;$$

где $h = \frac{\alpha \delta}{\lambda}$; $\alpha \delta$ - коэффициент теплообмена
ккал/м².ч.град;

λ - коэффициент теплопроводности
ккал/м.ч.град.

Начальные условия : $t|_{z=0} = t_b$;

Задача неоднородная, вводим функцию

$$t_{(x)}^* = \frac{t_a (1 + hx) - t_b (x - \delta) h}{1 + h\delta} \quad (21)$$

Эта функция удовлетворяет граничным условиям и, следовательно, задачу можно свести к однородной, полагая, что $V = t - t^*$.

Уравнение теплопроводности приобретает вид:

$$\frac{\partial V}{\partial z} = a \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \quad (22)$$

При этом граничные условия будут нулевыми

$$V|_{x=\delta} = 0; \quad \left(-\frac{\partial V}{\partial x} + h V\right)|_{x=0} = 0$$

Тогда начальные условия имеют вид:

$$V|_{z=0} = (t_b - t_a) \frac{1 + hx}{1 + h\delta} \quad (23)$$

Эта задача решается методом Фурье ; разделяя переменные и интегрируя по частям, получаем следующее уравнение температуры внутренней поверхности наружных ограждений:

$$t_{(0,z)} = \frac{t_a + t_b h\delta}{1 + h\delta} + 2(t_a - t_b) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \omega_n}{\sin \omega_n \cdot \cos \omega_n - \omega_n} \cdot e^{-\frac{\omega_n^2 a \cdot z}{\delta^2}} \quad (24)$$

В уравнении (24) ω обозначаем количество корней;

Корни принимаются положительные, пронумерованные в порядке возрастания их значений.

$$tg \omega = - \frac{\omega}{h\delta} \cdot$$

Для решения уравнения (24) в нашем случае в ряду оставляем шесть первых членов.

Как следует из практически сделанных примеров расчета, характера изменения величины температуры внутренней поверхности в наружных ограждениях при воздействии солнечной радиации в зависимости от температурных условий, времени воздействия солнечной радиации и физико-технических свойств ограждений, значения (T_6) , полученные по формулам экспериментальных и теоретических исследований (7.24), имеют хорошую сходимость.

П. Краевые условия имеют следующий общий вид:

- а) Величина температуры наружного воздуха (t_A) изменяется по синусоиде :

$$t_A = T + A \cdot \sin(\alpha \cdot Z + \beta)$$

- б) величина температуры внутреннего воздуха помещения также изменяется по синусоиде:

$$t_6 = T_1 + A_1 \sin(\alpha_1 Z + \beta_1)$$

где T, T_1 - средние значения температурных колебаний, считая от начальной нулевой температуры ;

A, A_1 - максимальные амплитуды колебаний температуры в градусах ;

α, β - параметры, определяющие синусоиду три заданных температурных колебаниях ;

Z - время воздействия солнечной радиации в часах.

В начальный момент величина температуры в наружном ограждении описывается уравнением:

$$t_{Z=0} = T_1^* + \frac{x}{\delta} (T^* - T_1^*),$$

где $T^* = t_{\lambda} /_{z=0} = T + A \cdot \sin \beta$;

$$T_1^* = t_{\delta} /_{z=0} = T_1 + A_1 \cdot \sin \beta_1 .$$

Определяем температуру на внутренней поверхности стены и в толще во времени.

Уравнение имеет вид :

$$\frac{\partial t}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} ;$$

при граничных условиях:

$$t /_{x=\delta} = T + A \cdot \sin (\alpha z + \beta) ;$$

$$\left(- \frac{\partial t}{\partial x} + h t \right) /_{x=0} = h \left[T_1 + A_1 \sin (\alpha_1 z + \beta_1) \right] ;$$

при начальных условиях :

$$t /_{z=0} = T_1^* + \frac{x}{\delta} (T^* - T_1^*) .$$

Решение задач с указанными граничными условиями имеют вид:

$$t = u + v$$

где u - первая задача ;

v - вторая задача.

Первая задача : $\frac{\partial u}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

при граничных условиях :

$$u /_{x=\delta} = 0 ; \left(- \frac{\partial u}{\partial x} + h u \right) /_{x=0} = h \left[T_1 + A_1 \cdot \sin (\alpha_1 z + \beta_1) \right] .$$

Начальные условия : $U|_{z=0} = 0$

Вторая задача : $\frac{\partial v}{\partial z} = \alpha \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$

При граничных условиях :

$$v|_{x=\delta} = T + A \sin(\alpha z + \beta) ; \left(-\frac{\partial v}{\partial x} + h v \right) |_{x=0} = 0$$

Начальные условия:

$$v|_{z=0} = T_1^* + \frac{x}{\delta} (T^* - T_1^*) .$$

Решая первую и вторую крайние задачи при указанных граничных условиях методом Фурье, получаем уравнение изменения температуры ограждений, а при $x=0$ имеем следующую формулу температуры внутренней поверхности наружных ограждений:

$$\begin{aligned} t_{(0,z)} = & 2(T_1 + A_1 \sin \beta_1) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \omega_n \cdot \cos \omega_n}{\omega_n - \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n} \cdot e^{-\frac{\omega_n^2 \cdot \alpha \cdot z}{\delta^2}} + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_1 A_1 \cdot \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n}{(\alpha_1^2 - \alpha^2 \cdot \frac{\omega_n^4}{\delta^4}) (\omega_n - \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n)} \left\{ \alpha \frac{\omega_n^2}{\delta^2} \cos(\alpha_1 z + \beta_1) + \alpha_1 \sin(\alpha_1 z + \beta_1) - \right. \\ & - e^{-\frac{\omega_n^2 \alpha z}{\delta^2}} \left(\alpha \frac{\omega_n^2}{\delta^2} \cos \beta_1 + \alpha_1 \sin \beta_1 \right) \left. \right\} + \frac{h \delta}{1 + h \delta} [T_1 + A_1 \sin(\alpha_1 z + \beta_1)] - \\ & - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(4 T^* + 2 \omega_n \delta T_1^*) \cos \omega_n + 2 \delta (T^* - T_1^*) \sin \omega_n - 4 T^*}{\omega_n \delta (\omega_n - \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n)} \cdot \sin \omega_n e^{-\frac{\omega_n^2 \delta^2 z}{\delta^2}} - \\ & - \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left[\frac{L_n N_n + K_n \alpha}{N_n^2 + \alpha^2} \cos \beta - \frac{N_n K_n - \alpha L_n}{N_n^2 + \alpha^2} \sin \beta - \frac{M_n}{N_n} \right] e^{-N_n z} + \right. \\ & + \frac{M_n}{N_n} + \frac{N_n K_n - \alpha L_n}{\alpha^2 + N_n^2} \sin(\alpha z + \beta) - \\ & - \left. \frac{L_n N_n + K_n \alpha}{\alpha^2 + N_n^2} \cos(\alpha z + \beta) \right\} \sin \omega_n . \quad (25) \end{aligned}$$

В результате выполненного теоретического исследования получены формулы для определения коэффициентов N, M, K, L , входящих в выражение (25):

$$N_n = \alpha \frac{\omega_n^2}{\delta^2}; \quad M_n = T \frac{4\alpha (\cos \omega_n - 1)}{\delta^2 (\omega_n - \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n)};$$

$$K_n = A \frac{4\alpha (\cos \omega_n - 1)}{\delta^2 (\omega_n - \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n)};$$

$$L_n = \frac{2\alpha [2(1 - \cos \omega_n) - \omega_n]}{\omega_n^2 (\omega_n - \sin \omega_n \cdot \cos \omega_n)}$$

Для заданных и исчисленных условий, а также по экспериментальным данным сделано сравнение изменения величины температуры на внутренней поверхности наружных ограждений при воздействии солнечной радиации, по формулам, полученным в результате экспериментально-теоретических исследований (7) и теоретических (25). Получены следующие результаты сравнения:

Таблица I

Температура внутренней поверхности ограждений	Время Z часов					
	5	6	7	8	9	10
T_g по формуле 7	22,36	22,99	23,19	23,40	23,62	23,86
$t_{(0,5)}$ по формуле 25	22,86	23,44	24,09	24,37	24,39	24,42

Из таблицы I видно, что изменения температуры внутренней поверхности легких наружных ограждений, исчисленные по формулам (7 и 25), весьма близки. Это позволяет рекомендовать наши обобщенные методы расчета теплоустойчивости наружных легких ограждений при воздействии солнечной радиации, в практику проектирования и строительства.

В диссертационной работе произведен технико-экономический анализ легких наружных ограждений с применением новых термоизоляционных материалов.

При технико-экономическом анализе легких наружных ограждений приведенные затраты, определялись с учетом стоимости конструкций

" в деле" эксплуатационных расходов и нормативного коэффициента эффективности.

Эффективность совершенствования конструктивных решений определялась по методу приведенных затрат по выражению:

$$P = C + E_n \cdot K,$$

где P - приведенные затраты в рублях;

C - годовые затраты, связанные с эксплуатацией данного конструктивного элемента в рублях ;

K - сметная стоимость воздействия конструктивных элементов (с учетом влияния трудоемкости и продолжительности воздействия на размер накладных расходов).

E_n - нормативный коэффициент эффективности, установленный для отрасли, к которой относится построенное предприятие, определяется по инструкции Госстроя.

В таблице 2 приведены технико-экономические показатели стеновых ограждений с использованием перспективных материалов.

При этом эти ограждения соответствуют нормам на теплоустойчивость при воздействии солнечной радиации для III климатического района.

Новые конструкции стен обладают небольшим весом, легче эталонных стен в 10-30 раз.

Уменьшение веса панелей стен приводит к снижению веса несущих конструкций /каркаса, фундаментов/ и дает дополнительную экономию в расходе стали и бетона.

Хотя величина сопротивления теплопередаче легких стен получается по расчету с учетом воздействия радиационного тепла, в 2-2,5 раза /для III климатического района/ больше требуемого сопротивления для зимних условий, стоимость некоторых панелей меньше эталонных, кроме этого, получается значительная экономия расходов на отопление и транспортные расходы.

Следует также указать, что затраты на отопление помещений с легкими стенами, которые удовлетворяют требованиям теплозащитных качеств в зимнее и летнее время, меньше / приблизительно на 30 % / затрат на отопление помещений с обычными кирпичными стенами.

Вышеизложенное позволяет рекомендовать легкие стены в практику строительства как экономически выгодные и перспективные.

Таким образом, в результате выполненного исследования получены общие уравнения зависимостей температуры внутренней поверхности легких ограждений от времени воздействия солнечной радиации, для наиболее распространенных в практике строительства полносборных легких стен, позволяющие определять расчетным путем размеры эффективных наружных ограждений и их термические характеристики.

Выполненное теоретическое и экспериментальное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Солнечная радиация в южных областях нашей страны вызывает нежелательный перегрев воздуха в помещениях зданий с легкими ограждениями. При этом температура воздуха в помещениях с легкими ограждающими конструкциями превышает санитарно-гигиенические нормы.

2. Результаты исследования показали, что амплитуда колебания температуры на внутренней поверхности легких наружных стен в 2,5 раза больше, чем она получается по расчету, выполненному по методике СНиП"а. Это говорит о том, что методика расчета теплоустойчивости ограждений СНиП"а, не отвечает действительным свойствам легких стен при воздействиях на них солнечной радиации.

3. Для получения одинаковых условий микроклимата в помещениях с легкими и массивными ограждениями, при наличии воздействия солнечной радиации, необходимо чтобы величина сопротивления теплопередаче была бы для легких ограждений в 3-4 раза больше, чем для массивных.

4. Толщину и конструкцию наружных легких ограждений следует выбирать исходя из расчета на теплоустойчивость по обобщенным выражениям (7,8,9,10,11,12,13,14,15,23 и 24).

5. Разработанная методика позволяет не только определять теплозащитные качества ограждающих конструкций, но и теплофизические характеристики строительных материалов.

6. Как показали результаты исследования, можно рекомендовать к применению в строительстве следующие конструктивные схемы легких стен:

а) с вентилируемыми воздушными прослойками, повышение температуры внутренних поверхностей которых уменьшается до 30 % сравнительно с наружными ограждениями без вентилируемой воздушной прослойки;

б) с теплоизоляцией из алюминиевой фольги, температура на внутренней поверхности этих стен за 8 часов меньше сплошных на 40 % ;

в) с одновременным применением вентилируемых воздушных прослоек и теплоизоляции из алюминиевой фольги, температура на внутренней поверхности таких стен за 8 часов меньше на 60% , чем у сплошных стен.

7. Предложена методика выбора расчетных летних температур с учетом расчетных нормативных температур и коэффициентов, учитывающих повышение температуры за счет теплопоглощения и теплоотдачи поверхностей, а также цвета поверхностей наружных ограждений. Значения этих коэффициентов приведены в работе.

8. В диссертационной работе даны рекомендации ориентации проектируемых зданий по странам света для крайнего юга СССР, а также расположение их по отношению направления господствующих ветров.

9. Для эффективной защиты зданий от воздействия солнечной радиации целесообразно использовать природные средства: деревья, кустарники, а также настенные ползучие растения. В работе даны рекомендации по солнцезащитным устройствам световых проемов применительно к видам зданий.

В конце диссертации, в качестве приложения, приведены основные результаты обработки экспериментальных данных.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих источниках:

- А.Н. МОГИЛАТ** "Теплоустойчивость полносборных наружных стен при воздействии солнечной радиации", монография, Издательство Харьковского Госуниверситета, Харьков, 1967 г.
- А.Н. МОГИЛАТ** "Установка для исследования теплозащитных качества ограждающих конструкций" Труды межвузовской научной конференции по проблемам строительной теплофизики, Минск, 1964.
- А.Н. МОГИЛАТ** "Теплоустойчивость легких стеновых панелей промышленных зданий при воздействии радиации тепла". Тезисы докладов Республиканского научно-технического семинара по разработке и внедрению прогрессивных конструкций стеновых панелей произведений, Киев, 1967.
- А.Н. МОГИЛАТ** "Теплоустойчивость легких полносборных наружных стен при воздействии солнечной радиации". Доклады на Межвузовской республиканской конференции по строительству, строительным материалам и архитектуре, посвященной 50- летию Советской власти. Издательство "БудІвельник", Киев, 1967.
- А.Н. МОГИЛАТ** "Исследование тепловлажностного режима и эксплуатационных качеств стен малоэтажных жилых домов из местных материалов" Труды межвузовского совещания по вопросам улучшения эксплуатационных качеств зданий Издательство ХГУ, г.Харьков, 1960.

А.Н. МОГИЛАТ
С.М. АКИМОВ

"Экспериментальное исследование тепло-технических качеств ограждающих конструкций, выпускаемых предприятиями строительной индустрии Полтавской области"
Вопросы архитектуры, доклады научной конференции по проблемам архитектуры, Издательство ХГУ, г.Харьков, 1966.

А.Н. МОГИЛАТ

"Теплоустойчивость легких наружных стен с применением отражательной теплоизоляции при воздействии радиационного тепла". Тезисы докладов III объединенной конференции строительных вузов, Издательство ХГУ, г.Харьков, 1967.

А.Н. МОГИЛАТ

"Исследование затухания колебаний температуры и тепловых потоков в наружных стенах от солнечной радиации в условиях полносферного строительства".
Вопросы архитектуры, доклады научной конференции по проблемам архитектуры, издательство ХГУ, г.Харьков, 1966.

А.Н. МОГИЛАТ

"Теплоустойчивость наружных стен", Тезисы докладов итоговой конференции по теплогазоснабжению и вентиляции семинара Украинского и Киевского управления НТО Стройиндустрии, г.Киев, 1968.

А.Н. МОГИЛАТ

"Технико-экономическая эффективность легких наружных ограждений из перспективных материалов". Материалы IV межвузовской научной конференции кафедр архитектуры, г.Харьков, 1968.

Доклады, сделанные по диссертационной работе:

- I. На межвузовской научной конференции совместно с работниками промышленности, научно-исследовательских и проектных институтов и НТО строительной индустрии СССР, 1-4 февраля 1964 г. в г.Минске.

2. На межвузовских конференциях кафедр архитектуры в г.Харькове в 1958,1965,1966,1967,1968 и 1969 годах.
3. На межвузовской республиканской конференции по строительству, строительным материалам и архитектуре, посвященной 50-летию Советской власти в г.Киеве в 1967 году.
4. На республиканском научно-техническом семинаре - совещании на тему: "Разработка и внедрение прогрессивных конструкций стеновых панелей промзданий" в г.Киеве в 1967 году.
5. На республиканском научном семинаре по теплоснабжению и вентиляции в 1968 году, г.Киев.
6. На ежегодных научно-технических конференциях Полтавского инженерно-строительного института, в 1960-1969 годах.

Полтава, ПКТИ, ротاپринт, БЗ-05330
н/з 93 от 7.I2.70. , тир.240 экз.