

Академия наук СССР
Сибирское отделение
Якутский филиал
Институт физико-технических
проблем Севера

А. Т. ТИМОШЕНКО

**ТЕПЛОЗАЩИТА И
ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕГКИХ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ
ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА СЕВЕРЕ**

ЯКУТСКОЕ КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЯКУТСК * 1981

КОНТРОЛЬНАЯ ЭКЗЕМПЛЯР

В книге представлены результаты многолетних натуральных наблюдений за температурно-влажностным режимом легких ограждающих конструкций и микроклиматом помещений малоэтажных жилых зданий, эксплуатируемых в условиях резко континентального климата Центральной Якутии. Приведены экспериментальные данные по теплофизическим характеристикам ряда полимерных теплоизоляционных материалов. Рассмотрены результаты расчетов на ЭВМ М-220М теплоустойчивости легких ограждений в зависимости от условий теплообмена на поверхностях, теплофизических характеристик утеплителей, их толщины и порядка расположения в конструкции. Выполнен технико-экономический анализ эффективности повышения теплозащиты малоэтажных зданий с легкими ограждениями в районах Крайнего Севера.

Книга предназначена для инженерно-технических и научных работников строительных специальностей.

Ответственный редактор,
доктор техн. наук Л. М. Никитина

© Якутский филиал Сибирского отделения Академии наук СССР, 1981

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Q — количество тепла, ккал/ч
 q — удельный тепловой поток, ккал/(м²·ч)
 F — площадь поверхности, м²
 t — температура среды, °С
 τ — температура поверхности, °С
 α — коэффициент теплообмена, ккал/(м²·ч·°С)
 γ — объемная масса (плотность) материала, кг/м³
 λ — коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·°С)
 c — удельная теплоемкость, ккал/(кг·°С)
 a — коэффициент температуропроводности, м²/ч
 δ — толщина слоя, м
 R — термическое сопротивление слоя, м²·ч·°С/ккал
 R_0 — сопротивление теплопередаче ограждения, м²·ч·°С/ккал
 z — время, ч
 T — период температурных колебаний, ч
 ω — циклическая частота периодических колебаний, 1/ч
 A — амплитуда колебания температуры, °С
 ν — показатель затухания амплитуды колебания температуры
 e — отклонение (запаздывание) во времени, ч

s — коэффициент теплоусвоения материала, ккал/(м²·ч·°С)

Y — коэффициент теплоусвоения поверхности, ккал/(м²·ч·°С)

B — показатель теплопоглощения, ккал/(м²·ч·°С)

D — показатель тепловой инерции ограждения

J — интенсивность солнечной радиации, ккал/(м²·ч)

ρ — коэффициент поглощения солнечной радиации

φ — относительная влажность воздуха

ω — влажность материала (по массе)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вопросы обеспечения тепловой защиты зданий и сооружений являются одними из наиболее актуальных и важных в северном строительстве. С переходом на индустриальные методы возведения зданий из облегченных и легких конструкций заводского изготовления, отличающихся низкой тепловой инерцией, возникает ряд проблем, связанных с обеспечением теплового комфорта помещений в различные периоды года. В условиях резко континентального климата Центральной Якутии ограждающие конструкции зданий подвержены воздействию низких температур зимой и высоких летом, значительных суточных колебаний температуры внешней среды в весенне-осенний и летний периоды, сопровождающиеся интенсивной солнечной радиацией. Поэтому наряду с улучшением теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций вопросы повышения их теплоустойчивости имеют важнейшее значение.

Цель настоящей работы — изучить особенности влияния климата Центральной Якутии на температурно-влажностный режим легких ограждающих конструкций и микроклимат помещений малоэтажных жилых зданий заводского изготовления и разработать рекомендации по повышению теплозащитных свойств и теплоустойчивости легких ограждений для улучшения теплового комфорта помещений этих зданий в течение всего периода эксплуатации.

Для выполнения поставленной цели потребовалось провести комплекс длительных натурных наблюдений на ряде реальных объектов, которые позволили выявить наиболее характерные особенности теплового режима зданий с легкими ограждениями в районах Центральной Якутии. Для проведения расчетов нестационарного теплового режима ограждающих конструкций необходимо располагать достаточно полными данными по теплофизическим характеристикам материалов, а также знать их зависимости от температуры и влажности, которые в реальных условиях эксплуатации могут изменяться в широких пределах.

Однако, как показал анализ литературных источников, теплофизические свойства ряда полимерных теплоизоляционных материалов, используемых как утеплители легких ограждений, изучены недостаточно, и это привело к необходимости осуществления лабораторных экспериментальных исследований по изучению теплофизических характеристик пенопластов. Математический эксперимент, выполненный с помощью ЭВМ М-220М позволил выявить влияние различных факторов на теплоустойчивость легких ограждающих конструкций и разработать конкретные рекомендации по их теплотехническому расчету и проектированию. Техничко-экономические расчеты показали эффективность повышения теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций малоэтажных жилых зданий в районах Центральной Якутии.

Работа выполнена в Институте физико-технических проблем Севера ЯФ СО АН СССР за 1973—1979 гг. Автор выражает глубокую благодарность докт. техн. наук Л. М. Никитиной за постоянное внимание и помощь при проведении исследований на всех этапах и при подготовке монографии, докт. техн. наук профессору В. П. Ушкалову, инж. Е. Я. Стебаковой, В. И. Васильеву и М. А. Сивцеву за помощь в постановке и проведении натурных наблюдений на ряде объектов. Постоянное содействие в организации натурных исследований и обеспечении технической документацией оказывали работники производственного управления «Якутсельстрой» Г. В. Черепанов и Т. В. Аксенова, в проведении лабораторных экспериментальных исследований, результаты которых вошли в третью главу, — А. П. Шамаева и А. И. Столповский. Глава четвертая данной книги явилась результатом совместной работы автора с сотрудниками Отдела прикладной математики и вычислительной техники ЯФ СО АН СССР Г. Г. Поповым и Д. Н. Толстяковым. Всем им автор также выражает свою признательность.

Замечания и пожелания по данной работе просим направлять по адресу: 677007, г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, ИФТПС.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

В свете решений XXVI съезда КПСС осуществляется широкая программа дальнейшего повышения материального благосостояния и культурного уровня советских людей. Одной из важнейших задач коммунистического строительства является всемерное улучшение культурно-бытовых и жилищных условий трудящихся.

Особое внимание уделяется дальнейшему интенсивному освоению северных районов нашей страны, обладающих богатейшими запасами каменного угля, редких и цветных металлов, древесины и другой ценной продукции. Дальнейшее развитие получают и основные отрасли сельского хозяйства на Крайнем Севере — оленеводство, охота, рыболовство, животноводство и земледелие.

Широкое освоение районов Крайнего Севера требует создания в кратчайшие сроки большого числа благоустроенных жилых поселков для строителей, нефтяников, газовиков, охотников, рыбаков, оленеводов, работников других отраслей промышленности и сельского хозяйства, рассредоточенных на огромной территории и рассчитанных на различные сроки эксплуатации в зависимости от их назначения.

Во многих глубинных, труднодоступных северных районах слабо развиты или вообще отсутствуют собственные базы строительной индустрии, испытывается острый недостаток в местных строительных материалах, транспортные связи с другими районами сложны и протяженны. Суровые климатические условия создают дополнительные трудности. В таких условиях для создания в кратчайшие сроки благоустроенных жилых поселков наиболее рационально применение полносборных высокотранспортабельных зданий заводского изготовления. Имеющийся отечественный и зарубежный опыт освоения труднодоступных северных районов убедительно подтверждает это положение [1—6]. Основой таких зданий являются панельные или объемно-блочные конструкции, изготавливаемые на крупных домострои-

тельных или лесоперерабатывающих предприятиях и доставляемые к месту строительства любым доступным видом транспорта — железнодорожным, водным, автомобильным, авиацией и др. В условиях сложных и протяженных транспортных перевозок максимальное облегчение всех конструктивных элементов здания и, в первую очередь, его ограждающих конструкций имеет первостепенное значение.

Современная строительная индустрия располагает широкими возможностями по созданию легких ограждающих конструкций зданий на основе применения высокоэффективных утеплителей — пенопластов различных марок, минераловатных изделий и других теплоизоляторов в сочетании с различными облицовочными материалами — водостойкой фанерой, твердыми древесноволокнистыми и древесностружечными плитами, пластиками, алюминием, асбестоцементными листами, древесиной. Ограждающие конструкции, выполненные из таких материалов, в десятки раз легче традиционных конструкций из кирпича и бетона и позволяют значительно сократить транспортные расходы, трудозатраты при монтаже зданий, сроки и стоимость строительства.

Суровый климат Крайнего Севера предъявляет повышенные требования к уровню комфортабельности зданий и теплозащитным свойствам их ограждающих конструкций. Различные районы Крайнего Севера имеют свои специфические природно-климатические особенности, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании легких ограждающих конструкций. Так, характерными особенностями климата в районах арктического побережья являются [7]: низкие температуры наружного воздуха как в зимний, так и в летний периоды; большие скорости ветра; высокая относительная влажность наружного воздуха; чередования полярного дня и полярной ночи. Климат же Центральной Якутии отличается от арктического резко континентальным характером и имеет следующие особенности: низкие температуры наружного воздуха в зимний и высокие температуры в летний периоды; незначительные скорости ветра; большие амплитуды суточных колебаний температуры в весенне-осенний и летний периоды; низкая относительная влажность воздуха; интенсивная солнечная радиация в весенне-осенний и летний периоды и почти полное отсутствие ее зимой.

Легкие ограждающие конструкции, обладающие малой тепловой инерцией, в условиях резко континентального климата подвергаются интенсивным по амплитуде переменным тепловым воздействиям внешней среды, которые должны быть детально изучены в натуральных условиях и учтены в расчетах с тем, чтобы обеспечить тепловой комфорт в помещениях зданий в течение всего периода их эксплуатации. Однако натуральных ис-

следований, посвященных изучению температурного режима легких ограждающих конструкций в условиях климата Центральной Якутии, проведено недостаточно.

Многочисленные натурные теплофизические исследования, выполненные ранее А. П. Васьковским и Н. Д. Шкляровым [8—10], Л. Ф. Туляковой, И. Л. Винокуром и Г. А. Антроповым [11—15], Н. С. Смирницким [16] и А. Э. Бутлицким [17—19], охватывают зону арктического побережья Крайнего Севера и относятся к зданиям с массивными ограждающими конструкциями. Исследования А. И. Кострова и Ю. М. Мзкова [20, 21] посвящены изучению теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций, однако проводились они также в районах Арктики.

В работе В. И. Лажинцева и др. [22] приводятся результаты теплофизических испытаний сборно-разборных зданий из объемных элементов типа «пакет» в условиях г. Красноярск. В. Т. Пчелинцевым [23] проведены наблюдения за температурным режимом ограждающих конструкций двухэтажного здания из алюминиевых панелей, утепленных пенопластом ПСБ, в условиях г. Мирного ЯАССР. Исследования Ю. Н. Абакумова, В. И. Мухи, М. С. Захарчука [24, 25] выполнены в районах Центральной Якутии, но относятся они к зданиям с массивными ограждающими конструкциями.

Исследования, проведенные автором и излагаемые в настоящей работе, посвящены изучению температурного режима легких ограждающих конструкций и микроклимата помещений жилых зданий, эксплуатируемых в условиях климата Центральной Якутии, и разработке рекомендаций по улучшению их теплотехнических свойств. Наряду с натурными наблюдениями проведены экспериментальные исследования по изучению теплофизических характеристик утеплителей легких ограждающих конструкций, а также выполнены численные исследования теплоустойчивости легких ограждений в зависимости от условий теплообмена, теплофизических характеристик, толщины и порядка расположения теплоизоляционных материалов. Дан технико-экономический анализ эффективности повышения теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций жилых зданий в районах Центральной Якутии. Отдельные результаты исследований опубликованы ранее в работах [26—33].

Глава I

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

§ 1. ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ЛЕГКИМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ

Над проблемой создания комфортабельных малоэтажных жилых зданий (как стационарных, так и мобильных) с легкими ограждающими конструкциями для труднодоступных районов Крайнего Севера работают многие научно-исследовательские и проектные организации нашей страны — Красноярский Промстройинипроект, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИСК, ГПИ Дальстройпроект, ЦНИИЭПЖилища, ЦНИИЭПграждансельстрой, СибЗНИИЭП и другие.

Красноярский Промстройинипроект с 1961 г. ведет разработку, испытания и внедрение сборно-разборных зданий для экспедиционных поселков строителей, нефтяников, газовиков, лесозаготовителей и других работников в отдаленных районах Крайнего Севера [34]. Институтом разработана серия одноэтажных панельных сборно-разборных зданий, получившая название «Виллой». Первый дом этой серии был смонтирован в пос. Чернышевском в 1966 г. [35]. Наружные ограждения дома — трехслойные панели размером 1,5×2,5 и 1,5×3 м. Деревянный каркас панелей выполнен из сосновых антисептированных досок сечением 40×100 мм. С наружной стороны панели обшиты бакелизированной фанерой толщиной 5 мм. В качестве утеплителя применен пенопласт ПСБ толщиной 100 мм. Отопление дома электрическое, при помощи низкотемпературных теплового панелей (до 45°C).

Первый опыт изготовления конструкций здания, их доставка к месту строительства, быстрый монтаж дома (бригада из трех человек при температуре воздуха —50°C собрала его в течение трех дней [34]) и многолетний опыт эксплуатации в суровых климатических условиях дали в целом положительные результаты, однако отмечена его низкая теплоустойчивость.

В 1971 г. в г. Красноярске был сооружен второй дом этой серии [35]. В качестве утеплителя панелей применены полужесткие минераловатные плиты. Толщина утеплителя в панелях пола 200 мм, в панелях стен и покрытия — по 100 мм.

Внутренняя обшивка наружных стеновых панелей решена из фанеры толщиной 6 мм, наружная — из гофрированного алюминия толщиной 1,2 мм по подкладке из листов твердой древесноволокнистой плиты. Отопление здания осуществляется греющим кабелем, заложенным в конструкцию пола. Серия зданий «Виллой» имеет различные варианты планировочных решений: может быть собрана в многоквартирные жилые дома или в общественные здания. В настоящее время здания этого типа построены в поселках Омсукчан, Яблоневский (Магаданская область), Чульман (Якутская АССР), Усинск (Коми АССР), Хантага (север Красноярского края) [4].

В 1968 г. Красноярским Промстройинипроект разработаны конструктивные решения зданий для малых (до 100 чел.) временных поселков экспедиционного типа [36, 37]. Основой этих зданий явился складывающийся блок типа «пакет». Суть блок-пакета состоит в том, что во время транспортировки он может приводиться в компактную форму в виде пакета. Блок-пакет собирается из клефанерных панелей размером «на комнату». Полезная площадь — 14,5 м², масса с рамой при утеплении ограждений полужесткими минераловатными плитами — около 4 т. Применение пенопластов значительно снижает массу панелей, и общая масса блока в этом случае составляет около 3 т [38]. В 1969 г. подготовлен первый опытный образец блок-пакета, а в 1970 г. собрано опытное здание, состоящее из шести блок-пакетов [22]. Ограждающие конструкции здания утеплены пенопластом ПСБ, толщина которого в панелях стен и покрытия 100 мм, в панелях пола — 200 мм. В ряде блок-пакетов, составивших опытное здание, в качестве утеплителя использовались полужесткие минераловатные плиты, однако толщина панелей не изменялась. Отопление здания электрическое, греющим кабелем в конструкции пола.

В течение двух зим (1969/70 и 1970/71 гг.) исследовались теплотехнические качества ограждающих конструкций блоков и работа системы электроотопления в условиях г. Красноярска. Исследования показали, что легкие ограждающие конструкции обладают невысокой теплоустойчивостью. Затухание колебаний температуры в ограждениях равно 3 [22], а это явно недостаточно. Фактическое сопротивление теплопередаче наружных стеновых панелей с минераловатным утеплителем равнялось 2,55 м²·ч·°C/ккал, а с пенопластом ПСБ — 3,68 м²·ч·°C/ккал [22], что примерно в 1,5—2 раза выше требуемого по СНиП. Исследования показали также, что проблема нормализации температурного режима пола может быть успешно решена благодаря электрической системе отопления греющим кабелем, уложенным в его конструкцию.

В 1973—1975 гг. проведен организационно-технический эксперимент по внедрению сборно-разборных зданий в северных

районах страны. Здания из блок-пакетов были доставлены и возведены в отдаленных поселках Карамкен, Палатка, Дукаат Магаданской области, г. Нерюнгри ЯАССР, в поселках Усинск Коми АССР и Маяк на севере Красноярского края [4, 39].

Сравнительным технико-экономическим анализом различных конструктивных решений панелей для сборно-разборных зданий, проведенным в Красноярском Промстройинипроекте, и практикой их применения установлено, что в качестве обшивок панелей лучшие экономические показатели достигаются при применении водостойкой фанеры. Из теплоизоляционных материалов наиболее экономичными являются фенолформальдегидный пенопласт и полужесткие минераловатные плиты [4, 40].

ЛенЗНИИЭПом разработан ряд проектов, созданы и испытаны экспериментальные образцы мобильных сборно-разборных и передвижных зданий для районов Крайнего Севера. Легкие здания, разработанные ЛенЗНИИЭПом, отличаются оригинальными архитектурными формами, интересными конструктивными решениями и рассчитаны на широкое применение новых современных материалов — пластмасс, армоцемента, алюминия и др.

Одним из таких домов является передвижной сборно-разборный дом из пластмассовых Г-образных панелей [41, 42]. Четыре Г-образные панели, соединенные между собой, образуют замкнутый элемент прямоугольной формы — «кольцо». Из таких колец и торцевых панелей собирают законченную объемную конструкцию. Панель Г-образной формы — трехслойная. Наружный облицовочный слой выполнен из полиэфирного стеклопластика толщиной 4 мм, внутренний — из фанеры толщиной 8—10 мм и эмалированной древесно-волоконистой плиты (ДВП). Для предотвращения поступления токсичных веществ от полимеров во внутрь помещений между фанерой и ДВП проложен слой алюминиевой фольги толщиной 150 мк. Панели утеплены пенопластом ПСБ-С толщиной 135 мм [41]. В 1968 г. изготовлен опытный образец этого дома, состоящий из двух жилых и одного хозяйственного блоков, полезной площадью 48 м². Дом рассчитан на проживание 5—8 человек. Отопление здания электрическое с автоматическим регулированием температуры в помещении.

С 1969 по 1974 г. проводились всесторонние теплофизические и санитарно-гигиенические исследования жилой секции этого дома в условиях г. Ленинграда [43—47]. Вторая жилая секция и хозяйственный блок в 1970 г. доставлены в пос. Палатка Магаданской области, где они также были подвергнуты всесторонним испытаниям [42—44]. Проведенные исследования выявили высокие эксплуатационные качества конструкций дома. Массовый выпуск таких зданий предполагается организовать в г. Магадане [48].

Другое оригинальное сборно-разборное здание, разработанное ЛенЗНИИЭПом в 1970 г. для районов Крайнего Севера — «дом-линза» [49]. Конструкция блок-квартиры дома образуется путем соединения двух панелей в виде усеченных шаровых сегментов и в собранном виде представляет собой форму линзы. Сборно-разборный дом, состоящий из двух блоков-квартир и одного технического блока, предназначен для проживания 3—4 человек в каждом жилом помещении. Отопление здания электрическое. Панели дома-линзы двухслойные. Наружный слой панели, выполняющий несущие и гидроизоляционные функции, изготавливается из армоцемента толщиной 20 мм, теплоизолирующий — из пенопласта ПСБ-С толщиной 100 мм. Внутренняя поверхность отделяется стеклотканью на полимерцементном клее.

В 1973—1974 гг. ЛенЗНИИЭПом совместно с кафедрами физики и архитектуры ЛИСИ и кафедрой коммунальной гигиены Ленинградского санитарно-гигиенического медицинского института проводились всесторонние физико-гигиенические исследования на экспериментальном образце «дома-линзы» в зимний и летний периоды в условиях г. Ленинграда [47, 50]. Исследования показали, что зимой в помещениях здания поддерживался нормальный температурный режим, но наблюдалась низкая влажность воздуха — 20—30%. Летними испытаниями установлено, что при температуре наружного воздуха 24—26°C под воздействием солнечной радиации температура внутри помещений повышалась до 28—30°C и люди ощущали перегрев. Для предотвращения летнего перегрева предложено устраивать специальный солнцезащитный экран [50].

Для временных поселков строителей в северных районах нового промышленного освоения ЛенЗНИИЭПом разработаны проекты жилых и общественных зданий из блок-контейнеров [51—53]. Блок-контейнер является объемным элементом с размерами 3,2×6,4×2,9 м. Соотношение длины и ширины блоков 1:2 допускает при планировке зданий ставить блоки в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Масса одного блок-контейнера 2,5—2,8 т, что позволяет транспортировать его автомобильным, водным, железнодорожным транспортом и авиацией, а также дает возможность использовать простые подъемно-транспортные механизмы на строительной площадке. Во всех ограждающих конструкциях блок-контейнеров используются трехслойные панели. Панель состоит из двух алюминиевых обшивок из сплавов АМЦ или АМГ толщиной 1,5 мм, крепящихся к внутреннему каркасу из фанерных прессованных швеллеров. В качестве утеплителя применен пенопласт ФРП-1 толщиной 150 мм. Отопление зданий выполняется электромастляными радиаторами, а теплопотери через пол компенсируются греющим кабелем, уложенным в его конструкцию.

Институтом разработана номенклатура жилых и общественных зданий из блок-контейнеров, предложены варианты компоновки поселков различной численностью [54].

ЛенЗНИИЭПом разработан также ряд других интересных проектных предложений по созданию мобильного жилища на Севере. К ним относятся [1]:

— жилые дома-общежития из объемных блоков с утепленными фасадными плоскостями; наружные ограждения трехслойные, с обшивками из водостойкой фанеры или алюминия и утеплителем ПСБ-С;

— сборно-разборный дом из легких древо-пластмассовых панелей, имеющий в плане форму шестиугольника; панели дома трехслойные, с деревянным каркасом; обшивки из водостойкой фанеры ФСФ толщиной 6 мм, утеплитель — пенопласт ПСБ-С толщиной 100 мм; с наружной стороны панели облицовываются стеклопластиком;

— сборно-разборное здание промежуточной базы оленеводов на 14—16 человек; трехслойные панели имеют обшивки из бакелизированной фанеры и утеплены пенопластом ПСБ-С.

Кроме того, ЛенЗНИИЭПом разработаны проекты, изготовлены опытные образцы и испытывается в натуральных условиях ряд особо легких передвижных зданий для оленеводов, охотников и рыбаков [1, 44, 45, 47, 55, 56]. Масса таких домиков от 400 до 1200 кг. Транспортировка их осуществляется механической тягой (вездеходами ГТТ, ГАЗ-71, тракторами С-100) и оленьими упряжками (при массе дома до 400—500 кг).

Все более широкое применение, особенно в районах Арктики, получают каркасно-панельные двухэтажные здания с легкими навесными алюминиевыми панелями, разработанные ЛенЗНИИЭПом [57—59]. Каркас зданий монтируется из стального проката. Навесные панели имеют трехслойную конструкцию. Обшивки выполняются из алюминиевых сплавов толщиной 1—1,5 мм. В качестве утеплителя применяются пенопласты ФРП-1, ППУ или минераловатные плиты на синтетическом связующем. Толщина утеплителя панелей 150 мм. В пос. Амдерма построены четыре здания этой конструкции, строятся они и в пос. Диксон [57]. Исследования, проведенные в этих зданиях, подтвердили высокие теплозащитные качества ограждающих конструкций [20, 21]. В ближайшие годы намечается создать крупные предприятия по выпуску зданий с применением алюминия и эффективных утеплителей [57].

Несомненный интерес представляет также новый тип навесных стеновых панелей на основе армированного фенольного пенопласта [60, 61]. Расчеты показывают [60], что панель размером «на комнату» толщиной 180 мм, изготовленная из пенопласта ФЛ $\gamma=150-180$ кг/м³, армированного стекловолокнистыми материалами, будет удовлетворять требованиям прочности, жесткости, теплозащиты и теплоустойчивости в условиях

Севера, а стоимость 1 м² такой панели в условиях Магадана примерно на 60% меньше, чем стоимость 1 м² газобетонной или керамзитобетонной стены.

Значительная работа по проектированию легких сборно-разборных зданий для районов Арктики и Антарктиды проведена институтом Ленморниипроект. Суровый климат полярных районов потребовал разработать особые конструкции домов, способных противостоять большим ветровым и снеговым нагрузкам.

Ленморниипроектом для полярных районов разработаны следующие проекты [34]: двухэтажный жилой 8-квартирный дом (1958 г.), малогабаритный жилой дом (1962 г.), экспедиционный дом-общежитие на 20 человек (1964), служебно-жилой комплекс зданий на 50 человек с крытыми переходами (1967 г.).

Здания имеют каркасно-панельную конструкцию и рассчитаны на температуру наружного воздуха —50°С и скорость ветра 50—70 м/с. Каркас зданий стальной. Ограждающие конструкции — навесные алюминиевые панели. Утеплителями панелей служат пенопласты ПСБ-С, ПХВ и мипора. Толщина утеплителя принята 150 мм. Экспедиционные дома-общежития более десяти лет успешно эксплуатируются на ст. Молодежная в Антарктиде [62]. В настоящее время в Заполярье возведено пять служебно-жилых комплексов [1].

ЦНИИСК совместно с ГСПИ Министерства связи СССР разработал конструктивные решения зданий радиорелейных линий для районов Крайнего Севера, строительство которых было осуществлено в 1965 г. [63]. Здания каркасно-панельные с навесными алюминиевыми панелями, утепленными пенопластом ПСБ-С. Обследования этих зданий, проведенные ЦНИИСКом, показали, что ограждающие конструкции и их стыки ведут себя удовлетворительно. Однако наряду с такими положительными качествами, как легкость и надежность работы в северных условиях, панели имели два существенных недостатка: относительно большой расход алюминия (10,3 кг на 1 м² панели) и невысокую технологичность [64]. В связи с этим в ЦНИИСКе были проведены работы по совершенствованию конструктивных решений и технологии изготовления ограждающих конструкций. В результате была разработана панель, имеющая мелкоффрированные алюминиевые обшивки толщиной 1—0,8 мм и средний слой из пенопласта ПСБ-С ($\gamma=60$ кг/м³), вспениваемый в полости конструкции. Обрамление панели — из бакелизированной фанеры толщиной 10 мм. Общая толщина трехслойной панели 150 мм. Расход алюминия был снижен до 5,7 кг на 1 м² панели [64], улучшена технология ее изготовления [65].

ЦНИИСКом совместно с ГПИ Дальстройпроект (г. Магадан) разработан проект цеха по выпуску 100 тыс. м² в год па-

нелей улучшенной конструкции. Разработаны номенклатура и конструктивные решения каркасно-панельных сборно-разборных зданий для приисков Северо-Востока страны [66, 67].

Одним из перспективных направлений в создании комфортабельных жилых поселков в глубинных, труднодоступных сельских северных районах является деревянное стандартное домостроение.

Широкие комплексные разработки по развитию индустриального деревянного домостроения в районах Сибири осуществляет СибЗНИИЭП [68—71]. На стройках Сибири в качестве утеплителя легких ограждающих конструкций применяется пенопласт ФПБ [72—74].

Индустриальное деревянное домостроение особенно перспективно в районах Центральной Якутии, где имеются богатейшие лесные массивы. Запасы древесины в Якутии огромны — 10,5 млрд. м³, что составляет 14% общих лесных ресурсов СССР [75].

Дерево является ценнейшим строительным материалом, сочетающим в себе легкость, высокие прочностные и теплозащитные качества, декоративность. Современный уровень развития строительной техники позволяет создать на основе древесных материалов и эффективных утеплителей легкие, транспортабельные конструкции зданий максимальной заводской готовности. Однако отсутствие баз индустриального стандартного домостроения в Якутии привело к тому, что в настоящее время до 90% зданий на селе строится из круглого леса и бруса [76].

Брусчатые здания неиндустриальны и имеют ряд существенных недостатков: значительные трудозатраты на строительство, достигающие 15 чел.-дней на 1 м² жилой площади; высокие транспортные расходы; большая продолжительность строительства; необходимость послеосадочного ремонта; невысокие эксплуатационные качества.

Дома из деревянных панелей по расходу древесины в 2—3 раза, по трудоемкости на 24—40%, по стоимости на 18—20% экономичнее домов из бруса [77].

В ЦНИИЭПЖилища разработаны основные типы жилищ и их особенности для постоянно и сезонно обитаемых сельских поселков, функциональные и объемно-планировочные решения сельских домов [78].

Анализ возможных вариантов решений зданий показал [79], что одно-, двухэтажные жилые дома в постоянных сельских и промышленных поселках наиболее рационально строить в панельном варианте, так как они, совмещая в своих элементах как ограждающие, так и несущие функции, требуют минимального расхода материалов.

ЦНИИЭПГраждансельстрой разработал серию типовых проектов жилых домов панельной конструкции для строительства в I климатической зоне, в которой учитываются особенности

труднодоступных районов Крайнего Севера [80]. Основное конструктивное решение предусматривает применение панелей размером «на комнату» с деревянным каркасом. Наружной обшивкой является водостойкая фанера ФСФ толщиной 8 мм, внутренней — фанера ФК толщиной 5—8 мм. В качестве основного варианта утеплителя приняты минераловатные плиты на синтетическом связующем. Толщина утеплителя в стеновых панелях 150 мм. Вариантами конструктивного решения панелей предусмотрено применение различных облицовочных материалов. Среди них древесноволокнистые и древесностружечные плиты, асбестоцемент, алюминий, дощатая обшивка. Утеплителями могут служить древесноволокнистые изоляционные плиты и пенопласты [80].

Первое жилое 8-квартирное здание 139-й серии из клефанерных панелей построено комбинатом «Якутлес» в 1974 г. в пос. Табага Якутской АССР. С 1974 по 1976 г. автором проведены систематические натурные наблюдения за температурным режимом ограждающих конструкций и микроклиматом помещений этого здания, результаты изложены во второй главе настоящей работы.

Якутсельстроем с 1972 г. осуществляется строительство сельских деревянных зданий в панельном и объемно-блочном исполнении в различных районах Якутской АССР. Ограждающие конструкции зданий утеплены пенопластом ФРП-1, минераловатными или древесноволокнистыми плитами и облицованы древесными материалами — водостойкой фанерой, твердой ДВП, дощатой обшивкой. На ряде таких зданий автором также были проведены натурные теплофизические исследования по изучению теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций и микроклимата помещений.

Таким образом, здания с легкими транспортабельными ограждающими конструкциями находят все более широкое применение и всеобщее признание в труднодоступных северных районах. Заметна следующая особенность: здания с алюминиевыми панелями нашли большее распространение в безлесных арктических районах. В районах, богатых лесом, шире применяются клефанерные деревянные здания. Среди утеплителей наибольшее применение получили пенопласты ФРП-1, ПСБ-С, ФПБ и минераловатные плиты. В большинстве проектов толщину утеплителя стен принимают равной 150 мм.

Правильный и обоснованный выбор вида утеплителя и его толщины должен базироваться на комплексном теплотехническом расчете, учитывающем как климатические, так и экономические особенности данного региона.

Здания и сооружения с облегченными ограждающими конструкциями в нашей стране получили применение в связи с индустриализацией народного хозяйства, бурным развитием промышленности и строительства. С появлением новых облегченных ограждающих конструкций остро встал вопрос о методике их теплотехнического расчета. По своим теплофизическим свойствам облегченные ограждения существенно отличаются от массивных. Если в массивных ограждениях температурные колебания внешней среды быстро затухают в их толще и практически не оказывают влияние на колебания температуры их внутренней поверхности, то в облегченных конструкциях это влияние становится уже заметным и должно быть учтено в расчетах.

Первые в нашей стране теоретические работы по теплоустойчивости зданий относятся к середине 1920-х годов. В. Д. Мачинский [81, 82], используя приближенный графический метод решения уравнения теплопроводности Фурье, впервые предложил практические решения по определению температуры в строительных ограждающих конструкциях и температуры воздуха помещений, разработал теорию активной теплоемкости жилых зданий, в которой решается вопрос о влиянии теплоемкости помещений на их тепловой режим. Исследования В. Д. Мачинского в области строительной теплотехники явились большим вкладом в развитие отечественной науки.

Значительным вкладом в теорию теплопередачи и теплоустойчивости ограждающих конструкций явились труды О. Е. Власова [83, 84]. В 1927 г. О. Е. Власовым разработано учение о плоских температурных волнах [83], теоретические предпосылки которого легли в основу современной теории теплоустойчивости, развитой и дополненной А. М. Шкловером [85—90], Л. А. Семеновым [91], К. Ф. Фокиным [92], Ф. В. Ушковым [88, 93], В. Н. Богословским [94] и др. В этой работе О. Е. Власов впервые вводит понятие «коэффициента теплоусвоения» поверхности ограждения:

$$s = \frac{Q}{t} = \lambda \sqrt{\frac{2\pi c \gamma}{\lambda T}} = \sqrt{\lambda c \gamma \omega}. \quad (1)$$

«Величина s представляет собой максимальную величину воспринимаемого поверхностью стены теплового потока при амплитуде колебания температуры поверхности стены в 1°C » [83]. О. Е. Власовым также впервые введена «условная толщина ограждения» $D = R \cdot s$ — безразмерная величина, служащая сравнительной характеристикой теплоинерционных свойств ог-

раждающих конструкций. Эти величины являются опорными в современной теории теплоустойчивости и используются в расчетах по СНиП II-3-79.

Г. А. Селиверстов [95] сделал критический разбор работы О. Е. Власова [83], указывая на ряд упущений и математических ошибок, однако все его критические замечания не коснулись существа рассматриваемого вопроса. В работе [96], явившейся продолжением [95], Г. А. Селиверстов рассмотрел зависимость между температурой воздуха в помещении и тепловым потоком от нагревательных приборов, а также предложил метод расчета затухания тепловой волны в ограждающих конструкциях и теплоустойчивости помещений. Решения, полученные автором, оказались весьма сложными в вычислениях и потому не нашли широкого практического применения.

Значительный интерес представляет работа С. И. Муромова [97], посвященная выбору расчетных температур наружного воздуха в зависимости от теплоустойчивости ограждающих конструкций. Автором предложен метод «нормализации» температурных колебаний наружного воздуха по различным периодам (от 1 до 30 суток), а также решена задача по затуханию наружных температурных волн в однослойных и двухслойных ограждающих конструкциях при граничных условиях третьего рода.

Используя гиперболические функции комплексного переменного для затухания температуры в однослойной стене, получено решение вида

$$t_{(x)} = e^{i\omega t} \left(A \operatorname{ch} x \sqrt{\frac{i\omega}{a}} + B \operatorname{sh} x \sqrt{\frac{i\omega}{a}} \right). \quad (2)$$

Расчеты затухания температурных колебаний в однослойной конструкции по методу С. И. Муромова сравнительно не сложны, но с увеличением числа слоев трудоемкость вычислений резко возрастает, поэтому для расчетов облегченных многослойных ограждающих конструкций этот метод не получил широкого применения.

Работа Е. Г. Швидковского [98], появившаяся в 1940 г., посвящена вопросу распространения плоских температурных волн в твердой среде. Автора больше интересовала физическая картина распространения температурных колебаний, поэтому его работа представляет в большей степени теоретический, чем практический интерес. Провести анализ влияния различных параметров, характеризующих ограждающие конструкции, на их теплоустойчивость, по решениям Е. Г. Швидковского, весьма затруднительно.

Теория теплоустойчивости О. Е. Власова и С. И. Муромова получила свое дальнейшее развитие в работах А. М. Шкловера [85, 86, 89].

Используя то же частное решение дифференциального уравнения Фурье, что и С. И. Муромов, но введя вместо коэффициента температуропроводности (a) и коэффициента теплоперевода ($h=a/\lambda$) параметры, предложенные О. Е. Власовым, т. е. коэффициент теплоусвоения (s) и условную толщину слоя ($D=R \cdot s$), автору удалось значительно упростить частные решения.

Расчеты по точному методу А. М. Шкловера также проводятся в комплексных величинах. Полное «сквозное» затухание температурной волны в многослойной стенке определяется по формуле [89]

$$\beta = e^{\Sigma R \cdot s \sqrt{i}} \cdot \frac{(s_1 \sqrt{i} + \alpha_n)(s_2 \sqrt{i} + \bar{Y}_1) \dots (s_n \sqrt{i} + \bar{Y}_{n-1})(\bar{Y}_n + \alpha_n)}{(s_1 \sqrt{i} + \bar{Y}_1)(s_2 \sqrt{i} + \bar{Y}_2) \dots (s_n \sqrt{i} + \bar{Y}_n) \alpha_n} \quad (3)$$

где $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_n$ — коэффициенты теплоусвоения поверхностей слоев в виде комплексного числа, ккал/(м²·ч·°С), определяемые для n -й поверхности по формуле

$$\bar{Y}_n = s_n \sqrt{i} \cdot \frac{\text{th} R_n \cdot s_n \sqrt{i} + \frac{\bar{Y}_{n-1}}{s_n \sqrt{i}}}{1 + \frac{\bar{Y}_{n-1}}{s_n \sqrt{i}} \text{th} R_n \cdot s_n \sqrt{i}} \quad (4)$$

Затухание амплитуды колебаний находится по модулю $v = |\beta|$, а сдвиг фаз — по аргументу $\epsilon = \arg(\beta)$. Однако этот метод расчета с комплексными числами ввиду определенной его сложности широкого применения также не получил.

Для практических расчетов А. М. Шкловер предложил упрощенные формулы, из которых исключены комплексные числа. Применение приближенных формул оправдывается тем, что исходные данные для расчетов (теплофизические характеристики материалов, коэффициенты теплообмена и др.) могут быть заданы лишь приближенно, а потому особо высокая точность решений становится необоснованной. В таких случаях разумно пойти на некоторое упрощение расчетов.

Приближенная формула для определения сквозного затухания в многослойной стенке имеет вид

$$v = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(s_1 + \alpha_n)(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n) \alpha_n} \quad (5)$$

По данной формуле и ведется расчет теплоустойчивости ограждающих конструкций в действующих в настоящее время нормах — СНиП II-3-79. Формулы (3)–(5) получены при следующих допущениях и условиях: температура наружного воздуха изменяется по гармоническому закону, затухание колебаний не зависит от начального распределения температур, температура внутреннего воздуха принята постоянной.

Наряду с решением задачи о затухании температурных волн в ограждающих конструкциях А. М. Шкловером рассмотрен вопрос о гармонических колебаниях температуры воздуха в замкнутом помещении под влиянием как внешних периодических тепловых воздействий, так и внутренних тепловыделений. В работах [86, 87] А. М. Шкловером предложены расчетные формулы по учету воздействия солнечной радиации на температурный режим ограждений, которые получили широкое признание, особенно в южных районах СССР.

Л. А. Семенов в работе [91] рассмотрел вопросы теплоустойчивости помещений жилых и общественных зданий в зимних условиях при печном отоплении. Используя основные параметры теории теплоустойчивости О. Е. Власова и А. М. Шкловера, т. е. коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности ограждения ($Y = A_q/A_c$), Л. А. Семенов разработал метод расчета колебаний температуры в помещении в зависимости от режима отопления и вида ограждающих конструкций.

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении автор рекомендует определять по формуле

$$A_t = \frac{amQ_{cp}}{\Sigma BF} \quad (6)$$

где a — обобщенный коэффициент, учитывающий значения поправочных коэффициентов на негармоничность кривой теплоотдачи печи, лучеиспускания печи, мебели и бытового тепла.

При печном и водяном отоплении рекомендуется принимать $a = 0,7$, при паровом — 0,8 и воздушном — 0,93.

Для сравнения теплоинерционных свойств различных помещений Л. А. Семенов предлагает пользоваться безразмерной величиной:

$$\psi = \frac{1,08 \Sigma BF(t_b - t_n)}{Q_{cp}} \quad (7)$$

названной «коэффициентом тепловой инерции помещения». Величина ψ зависит от размеров помещений и его ограждений (внутренних и наружных), их термического сопротивления, ориентации и т. д. Автор подчеркивает, что на величину ψ решающее влияние оказывают теплозащитные свойства ограждений, так как чем выше их сопротивление теплопередаче, тем

меньше теплопотери помещения, и, следовательно, тем больше теплоустойчивостью обладает помещение.

В работе [99] Л. А. Семенов подверг критике метод расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций, рекомендуемый нормами СНиП II-A. 7-62. Рассматривая теплоустойчивость различных помещений с одинаковыми по конструкции, но разными по площади наружными ограждениями, автор показал, что она изменяется в широких пределах и, следовательно, при одних и тех же ограждениях, но в разных по планировке помещениях, требования к системе отопления совершенно различны. В качестве показателя теплоустойчивости ограждений автор предлагает принимать амплитуду колебаний на их внутренней поверхности $A_{\tau} = A_i \cdot B/Y$.

По методу Л. А. Семенова температурные колебания в помещении рассматриваются только под влиянием внутренних тепловыделений. Колебания температуры наружного воздуха совершенно не учитываются. Такой подход вполне оправдан в случае массивных ограждений, так как наружные температурные колебания затухают в них настолько, что не оказывают существенного влияния на внутренний температурный режим. В случае же легких ограждающих конструкций влиянием температурных колебаний внешней среды на теплоустойчивость помещений пренебрегать нельзя.

В 1961—1962 гг. на страницах ИФЖ и Известий АС и А СССР развернулась острая научная дискуссия по теории теплоустойчивости ограждающих конструкций [100—106]. Основное внимание было уделено вопросу о правомерности использования в современной проектной практике опорных величин теории теплоустойчивости: коэффициента теплоусвоения материала s и показателя тепловой инерции ограждения D . А. В. Лыковым [101] и В. Л. Шевельковым [105] эти характеристики были подвергнуты критике, а в качестве коэффициента теплоусвоения материала была предложена величина $\xi = \sqrt{\frac{a}{\omega}}$.

Работы И. П. Жука [100, 106—108] посвящены расчету теплопередачи в многослойных ограждающих конструкциях при стационарно-периодическом температурном состоянии. С помощью интегрального преобразования Лапласа автором получены решения дифференциального уравнения теплопроводности для одно-, двух- и трехслойной стенки при граничных условиях первого и третьего рода и гармоническом изменении наружной температуры. В этих работах показано, что затухание амплитуды колебаний температуры и теплового потока в многослойных ограждениях определяется не только величиной тепловой инерции $D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot s_i$, но и следующими параметрами:

$$1) K_{i\epsilon} = \sqrt{\frac{\lambda_i c_i \gamma_i}{\lambda_i + 1 c_i + 1 \gamma_i + 1}} \quad \text{— характеризует неоднородность материала конструкции и порядок расположения слоев;}$$

$$h = \frac{K_{i\epsilon} - 1}{K_{i\epsilon} + 1}$$

$$2) Bi_1 = \frac{\alpha_1}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \gamma_1 \omega}} \quad \text{— характеризует материал конструкции и условия теплообмена.}$$

$$Bi_2 = \frac{\alpha_2}{\sqrt{\lambda_2 c_2 \gamma_2 \omega}}$$

3) Соотношения между D_i отдельных слоев.

В работе [108] предложена методика инженерного расчета и разработаны вспомогательные таблицы, однако значительная трудоемкость расчета затрудняет его практическое использование.

Работы В. В. Наседкина [109—112] посвящены теоретическим вопросам расчета процесса теплопередачи при гармоническом изменении температуры среды. Принимая параметр $\xi = \sqrt{\frac{a}{\omega}}$ в качестве характеристического масштаба, автором разработан метод расчета затухания температурных волн в многослойном ограждении на ЭВМ, основанный на использовании обобщенных переменных: D_1, D_2, \dots, D_N (относительные толщины слоев) и $W_0 = \alpha_n / s_1$; $W_1 = s_1 / s_2$; ... $W_N = s_N / \alpha_n$ (числа, выражающие соотношение тангенсов угла наклона касательных к температурным кривым на стыке слоев). Величина $s = \lambda / \xi$ интерпретируется автором как «циклический коэффициент теплопроводности». Разработан алгоритм и составлена универсальная программа для определения затухания температурных колебаний на ЭВМ при любом количестве слоев в ограждающей конструкции [110].

Вопросы теплоустойчивости ограждающих конструкций и помещений рассмотрены в работах В. Н. Богословского [94, 113—116]. Особый интерес представляет предложенная методика определения расчетных наружных климатических параметров по коэффициенту обеспеченности заданного теплового режима помещений [116].

Для инженерных расчетов В. Н. Богословский [94] предложил определять затухание температурных колебаний в многослойных ограждениях по упрощенной формуле

$$\nu = 2^D \left(0,83 + 3 \frac{\sum R}{D} \right) \beta_{\text{сл}}^2 \nu_{\text{в.п.}}, \quad (8)$$

где $\beta_{\text{сл}} = 0,85 + 0,15 \frac{s_2}{s_1}$ — поправочный коэффициент, учитывающий расположение слоев;

$\beta_{в.п} = 1 + 0,5R_{в.п} \frac{D}{\Sigma R}$ — коэффициент, учитывающий наличие воздушной прослойки в ограждении.

Как отмечает автор [94], формула (8) непригодна для легких ограждений при значениях $D < 2,5 - 1,5$. Величину γ для таких ограждений предложено определять по приближенной формуле, полученной по данным численных расчетов методом конечных разностей:

$$\gamma = \gamma_{min} + [(0,8 + 1,15\Sigma R)\beta_{сл}\beta_{в.п} - 0,16\gamma_{min}]D^2, \quad (9)$$

где $\gamma_{min} = R_o / R_v$.

Время запаздывания суточных температурных колебаний при прохождении через ограждение определяется по приближенной формуле

$$\varepsilon = 2,7D - 0,4. \quad (10)$$

В настоящее время формула (8) включена в главу СНиП II-3-79.

Изучению влияния различных факторов на теплоустойчивость наружных ограждений и помещений при резком понижении температуры наружного воздуха в зимний период посвящены работы А. И. Ананьева [117—122].

В результате исследований А. И. Ананьев делает вывод о том, что тепловая инерция наружных стен D оказывает незначительное влияние на теплоустойчивость помещений и, следовательно, в современных крупнопанельных зданиях увеличение тепловой инерции наружных стен нецелесообразно. Увеличение же их сопротивления теплопередаче R_o в большей степени влияет на повышение теплоустойчивости помещений и значительно сокращает теплотери здания. Для условий Москвы предлагается принимать сопротивление теплопередаче наружных стен $R_o = 1,7 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$, что \sim в 1,5 раза выше $R_{тр}$ по СНиП. Автор отмечает [119, 122], что большое влияние на теплоустойчивость помещений оказывают окна (их площадь и качество герметизации), а также величина теплового эквивалента внутренних конструкций G . Соотношение площади световых проемов к площади пола для всех жилых помещений предложено принимать равным 1:7, а величину теплового эквивалента внутренних конструкций G — не менее 60 ккал/°C на 1 м³ помещения. Однако рекомендации автора по выбору термического сопротивления стен, сделанные для условий Москвы, не могут быть применены в других климатических условиях. Метода же расчета R_o автор не приводит.

Работы М. В. Шаприцкой [123—125] посвящены изучению динамических характеристик (теплоустойчивости) однослойных и многослойных ограждающих конструкций. В качестве

основного показателя при описании динамических свойств ограждений принят интегральный коэффициент s (час), характеризующий процесс теплопередачи в конструкции при единичном скачке наружной температуры.

На основе применения интегрального коэффициента автором получен ряд безразмерных зависимостей, отображающих динамические свойства конструкций.

Величина s для однородных ограждений при соотношении критериев Био $Bi_n = 2,67Bi_v$ определяется из формулы

$$s \cdot a / \beta^2 = 0,165 + 0,355 / Bi_v. \quad (11)$$

Формулы для определения величины s многослойного ограждения автором не приводятся.

Амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности ограждения предложено определять по формуле

$$A_{тв} = A \cdot K_y \cdot A_{тн}, \quad (12)$$

где A — безразмерная амплитуда затухания, определяемая по графикам или по выражению $A = 1 / (1 + 0,172s^2 \cdot \omega^2)$;

K_y — коэффициент усиления ограждающей конструкции, $K_y = R_v / R_{общ}$.

Неоднородность многослойных ограждающих конструкций учитывается с помощью коэффициента усиления, найденного по общему приведенному термическому сопротивлению

$$R_{общ} = R_v + R_{о.прив} + R_n, \quad (13)$$

где $R_{о.прив}$ — приведенное сопротивление теплопередаче, определяемое с учетом влияния стыков и обрамляющих ребер панели и по периметру оконного проема.

Пользуясь предложенными безразмерными зависимостями и интегральными комплексами, можно сравнивать различные варианты конструкций по их динамическим свойствам, однако вопрос о выборе термического сопротивления ограждения, обеспечивающего тепловой комфорт и теплоустойчивость помещений, при этом остается открытым.

В работе И. А. Кожина и Н. С. Зацаринной [126] рассматривается нестационарный тепловой режим сельскохозяйственных, промышленных и жилых зданий в зимних условиях с учетом лучистых и конвективных источников тепла, источников влаговыделений и вентиляционного тепло- и влагообмена.

Разработан численный метод расчета на ЭЦВМ температурного режима ограждений и зданий в целом. Проведено численное исследование влияния некоторых теплофизических параметров (D , s и др.) на изменение температуры внутренних

поверхностей ограждений и внутреннего воздуха при резком понижении температуры наружного воздуха. В результате исследований сделан вывод о том, что увеличение показателя тепловой инерции ограждения больше некоторого «предельного» значения нецелесообразно, так как это не приводит к улучшению теплового режима помещения. Для жилых зданий рекомендуется $D=3-4$.

В работе Н. С. Зацаринной [127] отмечено, что жилые дома относятся к категории зданий, где t_b колеблется в небольших пределах и ее можно принимать постоянной, при этом расчет сводится к определению теплоустойчивости отдельно взятых ограждений. С этим положением трудно согласиться, так как в помещениях зданий с легкими ограждающими конструкциями, эксплуатируемых в условиях резко континентального климата, колебания внутренней температуры могут превышать допустимые пределы и потому важно добиваться повышения теплоустойчивости помещений в целом.

В работе Ю. А. Калядина [128] рассматривается вопрос о выборе требуемого сопротивления теплопередаче особо легких ограждающих конструкций ($D \leq 1,5$) в зимний период. Учитываются теплоаккумулирующая способность внутренних поверхностей ограждений, колебания температур и тепловых потоков в помещении. Требуемое сопротивление теплопередаче легких ограждающих конструкций предложено определять по формуле

$$R_o^{тр} = \frac{t_b - t_n}{\alpha_b \Delta t^n} \cdot \left[\frac{\Delta t^n}{t_b - t_p} + \frac{\alpha_b (A_{t_b} - A_{t_b})}{Y_b (t_b - t_p)} \right]. \quad (14)$$

Расчеты, проведенные для различных пунктов страны [128], показали, что значения $R_o^{тр}$, вычисленные по формуле (14), существенно выше рассчитанных по СНиП, и для районов с расчетными температурами $t_n = -48 \div -53^\circ\text{C}$ составляют $2,8-3,0 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал}$.

Ю. А. Табунщиков в работе [129] рекомендует рассчитывать требуемое сопротивление теплопередаче легких ограждений, эквивалентных по теплоустойчивости традиционным кирпичным ограждениям, по формуле

$$R_o^{тр} = \frac{t_b - t_n}{\alpha_b \Delta t^n} \cdot \frac{0,325 + \frac{1}{Y_b}}{0,04 + \frac{1}{\alpha_b}}. \quad (15)$$

Для легких ограждений с тепловой инерцией $D < 2,25$ автор предлагает за расчетную зимнюю температуру принимать $t_n = t_{н.х.с} - A_{t_n}/2$, где $t_{н.х.с}$ — средняя температура наиболее холодных суток, A_{t_n} — средняя амплитуда суточных колебаний.

Расчеты по формуле (15) показывают, что для обеспечения теплоустойчивости легких ограждений, эквивалентной теплоустойчивости кирпичной стены, их сопротивление теплопередаче должно быть увеличено примерно в 2—3 раза против требуемого по СНиП II-3-79. Недостатком данного метода расчета является то, что он не учитывает теплоаккумулирующей способности внутренних конструкций, которые оказывают существенное влияние на теплоустойчивость помещений.

Исследования Г. К. Авдеева [130] подтверждают это положение. Автором установлено, что теплоустойчивость зданий с легкими наружными ограждениями и массивными внутренними конструкциями в целом близка теплоустойчивости зданий с массивными наружными стенами. Следовательно, теплоустойчивость помещения обеспечивается не только инерционными свойствами наружных ограждений, но и теплоаккумулирующей способностью всего помещения.

Рассмотренные выше работы посвящены в основном изучению теплового режима зданий и ограждающих конструкций в зимний период.

В условиях климата Центральной Якутии, характеризующегося чрезвычайно суровой и продолжительной зимой, вопросы обеспечения теплового комфорта помещений в зимних условиях имеют исключительно важное значение. Вместе с тем, как было отмечено выше, не менее важным вопросом для районов Центральной Якутии, отличающихся жарким, солнечным летом, является защита зданий от летнего перегрева и интенсивной солнечной радиации. Особенно сильный перегрев испытывают здания с легкими ограждающими конструкциями. При проектировании таких зданий необходимо рационально использовать опыт борьбы с перегревом помещений, накопленный в южных районах нашей страны. Поэтому исследования теплового режима и теплоустойчивости зданий и ограждающих конструкций, проведенные в южных районах, представляют значительный интерес и для районов Центральной Якутии.

Изучению теплового режима зданий и теплоустойчивости ограждающих конструкций в жарких летних условиях посвящены исследования Б. Ф. Васильева [131—133], А. Е. Ершова и др. [134—136], И. А. Кожина и Е. И. Угрюмова [137—142], В. Е. Коренькова [143], Р. Ю. Маракаева, Б. С. Межевникова, С. И. Пермякова и Ю. А. Табунщикова [144—149], А. Н. Могилата [150, 151], Е. А. Солдатова [152—155], И. С. Суханова и Ф. Ф. Девликамовой [156—159], В. Л. Чаплицкой [160, 161] и других.

Рассмотрим некоторые методы теплотехнических расчетов ограждающих конструкций и теплового режима зданий в летних условиях, рекомендуемые различными авторами.

А. Н. Могилат [150, 151] исследовал теплоустойчивость легких ограждающих конструкций при воздействии солнечной ра-

диации. Для легких ограждений, не имеющих воздушных прослоек, требуемое сопротивление теплопередаче автор рекомендует определять по формуле

$$R_o^{TP} = \frac{\lg \frac{t_n - \tau_b}{t_n - t_n^H} + 0,2 \lg z_a}{0,042 \lg z_a}, \quad (16)$$

где t_n — расчетная летняя наружная температура, °С,
 $t_n = t_n^H K_\Phi K_\alpha$;

t_n^H — 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_α — коэффициент, учитывающий изменение расчетной летней температуры за счет цвета поверхностей;

τ_b — температура на внутренней поверхности наружного ограждения, °С. Для $t_n < 25^\circ\text{C}$ принимают $\tau_b = 18 + (0,6 \div 0,7)^\circ\text{C}$, для $t_n > 25^\circ\text{C}$ $\tau_b = 18 + 1^\circ\text{C}$;

t_n^H — внутренняя начальная температура, принимаемая согласно нормам проектирования, равной $18 \div 21^\circ\text{C}$;

z_a — время воздействия радиационного тепла от начала практического ощущения воздействия солнечной радиации на внутреннюю поверхность легких ограждений, $z_a = z - 3$ (z колеблется от 8 до 13 часов в зависимости от ориентации наружных ограждений и района строительства).

Недостатком предлагаемого метода расчета является то, что во внимание принимается только время воздействия солнечной радиации, а ее интенсивность не учитывается. Интенсивность солнечной радиации, как известно, в различных районах нашей страны изменяется в широких пределах. Она оказывает значительное влияние на тепловой режим ограждений и поэтому обязательно должна быть учтена в расчетах.

В работах В. Л. Чаплицкой [160, 161] рассматриваются особенности процесса теплопередачи в трехслойных алюминиевых панелях, утепленных пенопластами, в летних условиях. Отмечено значительное расхождение между расчетным затуханием температурных колебаний наружного воздуха по толщине конструкции, вычисленным по нормам СНиП, и натурными данными. В натуральных условиях амплитуда температурных колебаний на внутренней поверхности панелей примерно в 3 раза выше расчетной, при этом в зданиях с алюминиевыми панелями наблюдается значительный перегрев. В. Л. Чаплицкая считает

что основной причиной перегрева является тепловая прозрачность пенопластов, т. е. их способность частично пропускать лучистое тепло в спектре излучения наружной алюминиевой обшивки. В работе предложен метод теплотехнического расчета алюминиевых панелей с учетом лучистых составляющих материалов, а также разработаны номограммы по определению толщины теплоизоляции (пенопластов нескольких марок) в зависимости от температурных перепадов в ограждении. Наружные ограждения рассматриваются отдельно, вне связи с помещением, и это снижает ценность данной работы.

В работах П. П. Денисова [162—164] решается задача о летнем тепловом режиме помещений с однослойными и многослойными ограждающими конструкциями при гармонических колебаниях температуры наружного воздуха. Приведены формулы для расчета амплитуды колебаний температуры воздуха в помещении как в случае однослойных ограждающих конструкций [162], так и многослойных [163, 164]. Однако значительная сложность полученных решений затрудняет их использование в инженерной практике.

В работах И. А. Кожина и Е. И. Угрюмова [137, 139] получено аналитическое решение задачи о температурном режиме помещений в летних условиях в зависимости от теплоинерционных качеств наружных и внутренних ограждений с учетом тепла, поступающего через наружные стены, окна и с вентиляционным воздухом. Решения также получены для помещений как с однослойными [137], так и с многослойными [140] ограждающими конструкциями.

Е. И. Угрюмовым [139—141] проведен анализ роли отдельных факторов в формировании теплового режима помещений, который, в частности, показал, что наибольшая теплоустойчивость помещения достигается при степени массивности внутренних ограждений $D = 1,8 \div 2,3$ и дальнейшее увеличение внутренней массы уже не улучшает его инерционные качества. Теплоустойчивость наружных ограждений предлагается считать достаточной, если при известном эксплуатационном режиме разность максимальной температуры помещения при передаче тепла через эти ограждения и при отсутствии ее не превышает 1°C . Затруднения в практическом использовании предложенного метода расчета, правильного в своей основе, также связаны со значительной трудоемкостью вычислений. Решения Е. И. Угрюмова получены в предположении, что окна снабжены надежной солнцезащитой и передача тепла в них определяется только теплопроводностью.

В. А. Могутов [165] предложил метод расчета летнего теплового режима зданий, позволяющий учесть действие проникающей в помещение солнечной радиации.

Анализируя полученные решения, В. А. Могутов пришел к выводу, что тепловой режим зданий нелинейно зависит от мас-

сивности наружных ограждений. Минимальные колебания температуры воздуха в помещении обеспечиваются в диапазоне массивностей ограждений $3 \leq D \leq 4$. Однако данные решения получены только для помещения с однослойными ограждающими конструкциями и потому не могут быть использованы для расчета теплового режима зданий с легкими многослойными ограждениями.

В последние годы при изучении теплового режима и ограждающих конструкций все более широкое применение получают методы расчетов с использованием ЭЦВМ и АВМ. Работы В. К. Ивашковой, З. С. Канышкиной, В. А. Могутова и Б. Д. Некрасова [166—168] посвящены изучению летнего теплового режима зданий методом электротепловой аналогии с помощью АВМ. Тепловой режим зданий рассматривается в зависимости от различных факторов: тепловых воздействий внешней среды (в том числе проникающей в помещение солнечной радиации), качеств ограждающих конструкций, площади остекления, объема и высоты помещений, этажности и ориентации зданий. Один из основных выводов, полученных авторами, заключается в том, что в зданиях с особо легкими ограждающими конструкциями ($D \leq 2,5$), характеризующимися малой теплоустойчивостью, наблюдается линейная зависимость амплитуды колебаний A_{t_b} от массивности конструкций. Отмечено [168], что «необходим тщательный анализ теплоустойчивости и теплового режима помещений зданий из особо легких ограждающих конструкций».

Как видно из вышеизложенного, многие исследователи уделяют особое внимание расчету теплового режима помещений и ограждающих конструкций в какой-либо один определенный период года — зимний или летний. Выбор расчетного периода обусловлен спецификой климата, применительно к которому предлагается тот или иной метод расчета.

В условиях же климата Центральной Якутии, отличающегося резкой континентальностью, очень важно обеспечить не только надежную теплозащиту зданий зимой, но и защиту их от летнего перегрева, а кроме того, важно обеспечить также достаточную теплоустойчивость помещений в наиболее яркие, по температурным колебаниям, переходные периоды. Следовательно, при проектировании и расчете легких ограждающих конструкций в условиях Центральной Якутии, необходим комплексный подход, учитывающий все основные климатические особенности данного района. Только в этом случае тепловой комфорт в помещении будет обеспечен в течение всего периода эксплуатации.

Из существующих методов более полно учитывает особенности эксплуатации зданий с легкими ограждающими конструкциями в условиях Крайнего Севера метод теплотехнического

расчета, предложенный И. А. Казанцевым [42, 169—171]. По этому методу расчет сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций производится из трех условий [42]:

1. Из условия обеспечения теплового комфорта человека в помещении зимой

$$R_o^{тр} = \frac{(t_b - t_n)n}{\alpha_b(t_b - \tau_{в.р})} \quad (17)$$

2. Из условия обеспечения теплоустойчивости помещений в наиболее холодный зимний период

$$R_s^{тр} = \frac{[A_n + \mu m(t_b - t_n)]F_n}{\mu \Delta t_b (B_n F_n + B_b F_b)} \quad (18)$$

3. Из условия обеспечения теплоустойчивости помещений в наиболее жаркий летний период

$$R_l^{тр} = \frac{\Sigma A_{н.усл} \cdot F_n}{\mu \Delta t_b (B_n F_n + B_b F_b)} \quad (19)$$

Из полученных значений $R_o^{тр}$, $R_s^{тр}$ и $R_l^{тр}$ за расчетное принимается наибольшее. В формулы (17)—(19) входит величина μ , учитывающая тепловую инерцию ограждений и определяемая по следующим зависимостям [42]: при $D \leq 2$ $\mu = 1$; при $2 < D \leq 4$ $\mu = 0,35(D-2)^2 + 1$; при $4 < D \leq 7$ $\mu = 1,55(D-4)^2 + 2,4$; при $D > 7$ $\mu \rightarrow \infty$. Затухание амплитуды температурных колебаний в ограждении с целью упрощения расчетов предлагается определять по формуле $\nu = R_o / (\mu \cdot R_b)$. Однако такой расчет допустим только для особо легких конструкций ($D \leq 1,5$), где $\mu = 1$ и $\nu = R_o / R_b$. Для многослойных ограждений, обладающих большей массивностью, затухание ν зависит не только от величины D , но и от теплофизических свойств отдельных слоев, соотношения их по толщине и порядка расположения в конструкции. Как показано в четвертой главе настоящей работы, многослойное ограждение при сочетании утеплителей с оптимальным соотношением слоев по толщине и рациональном их расположении, обладающее меньшим D , по величине затухания ν может на 80% превосходить конструкцию, имеющую большее D , но в которой толщины слоев и их расположение не оптимизированы. Таким образом, величина μ не отражает в полной мере особенностей прохождения тепловых волн через многослойные ограждения и не позволяет оптимизировать конструкцию по теплоустойчивости, поэтому использовать μ в расчетах затухания температурных колебаний в ограждениях, имеющих $D > 1,5$ не следует.

Работы Н. В. Шагова, Р. Ш. Урманова и В. Э. Дизендорфа выполнены под руководством И. А. Казанцева и направлены на

дальнейшее развитие и усовершенствование данного метода. Н. В. Шагов [44] исследовал влияние теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций мобильных зданий на микроклимат помещений в зимних условиях эксплуатации. Работы Р. Ш. Урманова [45, 46] посвящены изучению теплоустойчивости облегченных и легких ограждающих конструкций и помещений при периодических и аperiodических тепловых воздействиях. В. Э. Дизендорф [47] более детально изучил вопросы внутреннего теплообмена в помещениях мобильных зданий. Выбор термического сопротивления наружных ограждений предложено определять исходя из величины конвективного и лучистого тепловых потоков на их внутренней поверхности. Я. З. Иоффе [172] занимается математическим моделированием теплового режима мобильных зданий с применением ЭВМ. Действующие нормы теплотехнического расчета по СНиП II-3-79 [173] требуют определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче $R_o^{эк}$ из условия обеспечения наименьших приведенных затрат. Прежде всего определяется экономически целесообразное термическое сопротивление слоя утеплителя многослойного ограждения по формуле

$$R_{ут}^{эк} = \sqrt{\frac{n_{ут}(t_{в} - t_{от.пер})z_{от.пер}mC_T l_T}{\lambda_{ут}C_{ут}E_{н.п}}} \quad (20)$$

Затем находится толщина утеплителя

$$\delta_{ут} = R_{ут}^{эк} \cdot \lambda_{ут} \quad (21)$$

и экономически целесообразное сопротивление теплопередаче

$$R_o^{эк} = \frac{1}{\alpha_n} + R_{ут}^{эк} + \sum R_{к.с} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (22)$$

Окончательно экономически целесообразное сопротивление теплопередаче ограждения устанавливается расчетом вариантов ограждающей конструкции исходя из условия обеспечения наименьших приведенных затрат по формуле

$$P = C_d + \frac{(t_{в} - t_{от.пер})z_{от.пер}mC_T l_T}{R_o E_{н.п}} \text{ руб/м}^2 \text{ (минимум)}. \quad (23)$$

Новые требования норм СНиП ведут к повышению теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Это особенно важно для районов Крайнего Севера и, в частности, для Центральной Якутии, где стоимость топлива может в 5—7 раз превышать среднюю по стране.

Требования по теплоустойчивости в новых нормах СНиП II-3-79 остались практически без изменений. Проверка ограждающих

конструкций жилых зданий на теплоустойчивость (наружных стен с тепловой инерцией менее 4 и покрытий менее 5) проводится только для районов со среднемесячной температурой июля 21°C и выше. Для этого определяется расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха с учетом солнечной радиации по формуле

$$A_{t_n}^{расч} = 0,5A_{t_n} + \frac{\rho(J_{max} - J_{ср})}{\alpha_n} \quad (24)$$

Вычисляется величина затухания амплитуды температурных колебаний в ограждающей конструкции γ по формуле (5) и затем определяется амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности ограждения $A_{t_n} = A_{t_n}^{расч} / \gamma$, которая не должна быть больше требуемой $A_{t_n}^{тп}$, рассчитываемой по формуле

$$A_{t_n}^{тп} = 2,5 - 0,1(t_n^2 - 21) \quad (25)$$

Если условие $A_{t_n} \leq A_{t_n}^{тп}$ не выполняется, то необходимо увеличить толщину ограждения и повторить проверку его на теплоустойчивость. Следует однако отметить, что данные требования норм по теплоустойчивости остаются недостаточно высокими.

Выполненный обзор существующих методов теплотехнических расчетов показывает, что их достаточно много и посвящены они различным вопросам теплового режима зданий как в зимних, так и в летних условиях, однако для того, чтобы оценить степень достоверности и пригодности того или иного расчетного метода для конкретного региона, необходимо иметь достаточно полное представление о фактическом температурном режиме ограждающих конструкций и помещений зданий, возникающем в реальных условиях эксплуатации в данном регионе.

Прямой ответ на эти вопросы могут дать только длительные натурные теплофизические наблюдения, проведенные на реальных объектах.

Глава 2

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ И ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

§ 1. МЕТОДИКА НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами натуральных наблюдений являлись жилые здания с легкими ограждающими конструкциями ($D \leq 4$), выполненными с применением эффективных теплоизоляционных материалов — пенопластов различных марок, минераловатных плит и т. д. Исследовались малоэтажные здания (1—2 этажа), помещения которых отличаются большой площадью наружных ограждающих конструкций, и, следовательно, подвержены более значительному воздействию внешней среды. По конструктивному решению исследованные здания разделяются на два типа — панельные и объемно-блочные. Подобные здания наиболее перспективны для сельского и поселкового строительства в районах Крайнего Севера.

Натурные теплофизические исследования проводились по общепринятой методике [131, 174]. В их состав входило:

— определение параметров внешней среды, воздействующих на наружные ограждающие конструкции и микроклимата помещений (температуры наружного воздуха, суммарной солнечной радиации, поступающей на ограждающие конструкции различной ориентации, направления и скорости ветра);

— изучение температурно-влажностного режима и теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций (определение температуры по толщине ограждающих конструкций и ее изменения во времени, наблюдение за тепловыми потоками, проходящими через ограждающие конструкции, и установление их фактического сопротивления теплопередаче, выявление влажностного состояния материалов ограждающих конструкций);

— определение параметров микроклимата помещений (температуры внутреннего воздуха, ее распределения по объему помещений и колебания во времени, температуры внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, относительной влажности внутреннего воздуха).

При проведении натуральных теплофизических исследований применялась следующая аппаратура.

Температура наружного и внутреннего воздуха на расстоянии 10 см от соответствующих поверхностей ограждающих конструкций и по их толщине измерялась терморезисторами ММТ-1, показания которых регистрировались мостом МО-62. Терморезисторы имеют индивидуальную градуировку. Абсолютная погрешность измерений $\pm 0,1^\circ\text{C}$, относительная — $\pm 0,5\%$. По толщине ограждающих конструкций датчики устанавливались в определенных точках: на наружной и внутренней поверхностях, на границах слоев различных материалов и через каждые 3—5 см в однородных слоях. Сечения с датчиками располагались в центральной части ограждающих конструкций на высоте 150 см от пола.

Суммарная солнечная радиация, поступающая на ограждающие конструкции различной ориентации и на горизонтальную поверхность, измерялась пиранометрами М-80 с помощью гальванометра ГСА-1. Предварительно, перед началом наблюдений, все актинометрические приборы были отградуированы в Якутской геофизической обсерватории. В дни наблюдений измерения солнечной радиации проводились от восхода до захода солнца через каждые 30 мин.

Скорость ветра определялась анемометром АСО-3.

Величина теплового потока, проходящего через ограждения, фиксировалась при помощи тепломеров конструкции ЛТИХП, которые устанавливались рядом с датчиками температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций. ТермоЭДС тепломеров регистрировалась потенциометром ПП-63. Погрешность измерения теплового потока, как известно, зависит от амплитуды колебаний температуры внутреннего и наружного воздуха и от его средней величины [175]. В данных исследованиях при измерении тепловых потоков в наиболее холодный зимний период относительная погрешность в среднем составила $\pm 4\%$.

Влажностный режим ограждающих конструкций устанавливался путем отбора проб материалов и их последующего анализа в лабораторных условиях. Взятые из конструкции пробы взвешивались на аналитических весах ВЛА-200-М, затем высушивались до постоянной массы и взвешивались повторно. Влажностное содержание определялось по отношению к сухому материалу. Максимальная относительная ошибка составила $\pm 10\%$.

Распределение температуры внутреннего воздуха по объему помещений фиксировалось при помощи «термостворов», представляющих собой переносные раздвижные деревянные рейки, снабженные датчиками температуры (терморезисторы ММТ-1), установленными в определенных точках. В соответствии с методикой [174] температура воздуха в помещении по вертикали измерялась в семи точках: у поверхности пола, в 10, 25, 75 и 150 см от пола, в 25 см от потолка и у его поверхности. Термо-

створы устанавливались в центре комнаты, в наружных и внутренних углах, также в соответствии с методикой [174]. Показания датчиков регистрировались мостом МО-62.

Для непрерывной записи температуры внутреннего воздуха и его относительной влажности применялись недельные термографы М-16н и гигрографы М-21н, которые устанавливались в центре комнаты на высоте 150 см от пола. Показания самописцев контролировались лабораторными термометрами и психрометром МВ-4М.

Температура внутренних поверхностей ограждений измерялась переносной медь-константановой термопарой, оформленной в виде «термошупа». Показания термопары регистрировались гальванометром М-195/1. Абсолютная погрешность измерений составила $\pm 0,2^\circ\text{C}$, относительная — $\pm 0,8\%$.

В период наблюдений температуры и тепловые потоки в ограждающих конструкциях измерялись круглосуточно со снятием показаний через каждый час. Продолжительность одного цикла наблюдений составляла в среднем 2—3 суток. При проведении длительных натуральных наблюдений с целью изучения температурного режима различно ориентированных ограждающих конструкций в течение полного годового периода такие циклы систематически повторялись через каждые 6—8 суток. Зимой наблюдения проводились в наиболее холодные дни, в остальные периоды года — преимущественно в ясные безоблачные дни, так как именно они характеризуются максимальной интенсивностью солнечной радиации и амплитудой суточных колебаний температуры наружного воздуха, что особенно важно при изучении теплоустойчивости ограждающих конструкций и помещений в целом.

Ниже представлены основные результаты натуральных исследований, проведенных в 1973—1976 годах.

§ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Экспериментальное здание из объемных элементов в г. Якутске

Экспериментальное здание из объемных элементов построено в 1972 г. силами ИФТПС при непосредственном участии автора. Здание (рис. 1) сооружено из четырех монолитных железобетонных объемных элементов типа «колпак», доставленных в г. Якутск по железной дороге и водному пути с Томь-Усинского завода железобетонных конструкций Кемеровской области. Наружные размеры объемного элемента $3,2 \times 2,7 \times 5,4$ м, масса около 11 т.

Наружная торцевая стена объемного элемента, изготовленная на заводе, трехслойная. Внутренний и наружный слой тол-

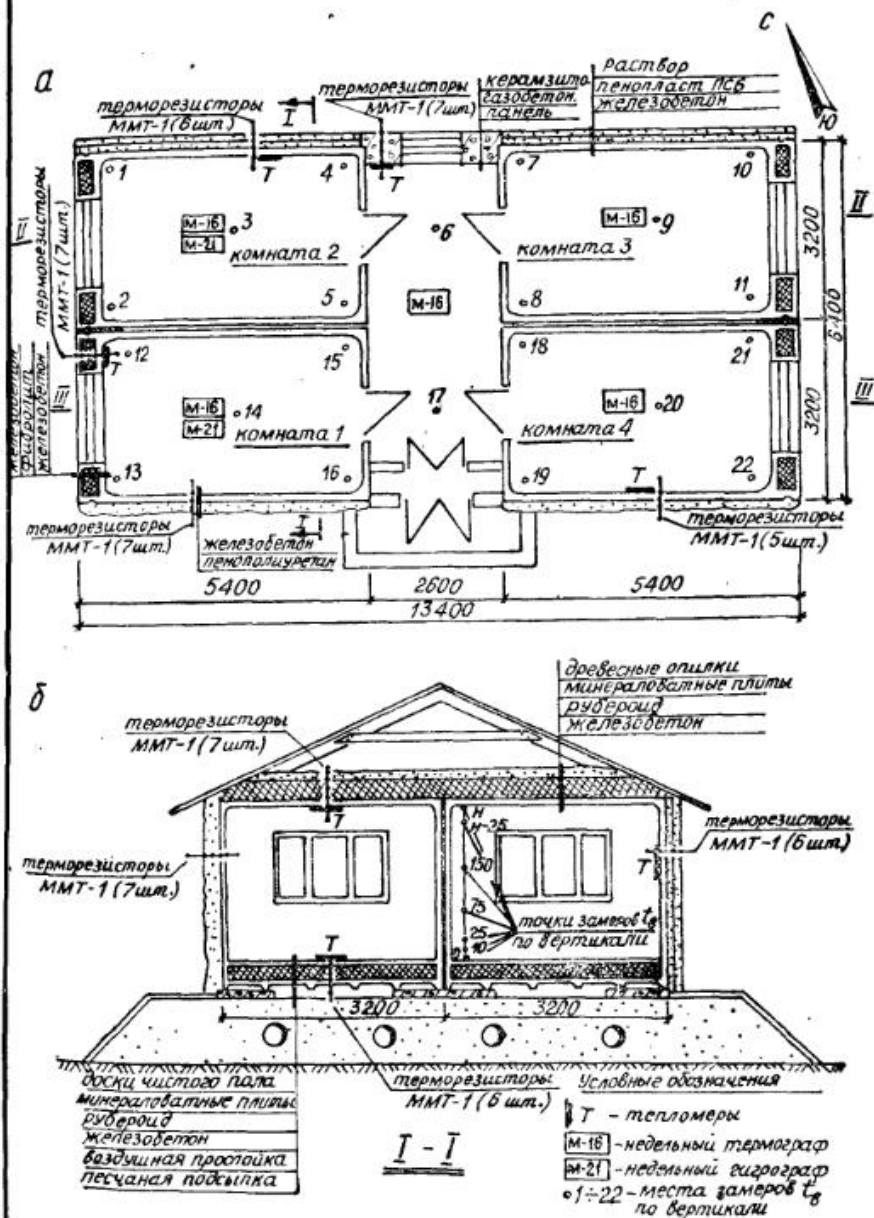


Рис. 1. Экспериментальное здание из объемных элементов в г. Якутске:
а — план; б — поперечный разрез

щиной соответственно 65 и 35 мм выполнены из железобетона, утеплитель — цементный фибролит ($\gamma=400 \text{ кг/м}^3$) толщиной 300 мм. В наружной стене объемного элемента имеется оконный проем размером $1960 \times 1480 \text{ мм}$ с двойным остеклением. Предварительно проведенные расчеты по определению сопротивления теплопередаче наружной стены показали возможность применения объемного элемента данной конструкции (за исключением двойного остекления) в климатических условиях г. Якутска.

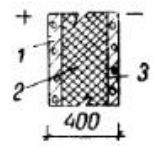
После монтажа объемных элементов их боковые поверхности теплоизолировались эффективными утеплителями: стены южной ориентации — пенополиуретаном ППУ-3Н ($\delta=90 \div 120 \text{ мм}$), нанесенным методом набрызга; северной — пенопластом ПСБ ($\delta=100 \text{ мм}$), наклеенным битумной мастикой. С наружной стороны пенопласт ПСБ покрыт слоем цементно-алюбастрового раствора ($\delta=10 \text{ мм}$).

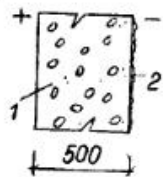
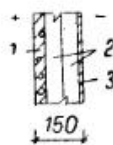
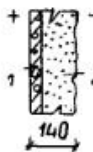
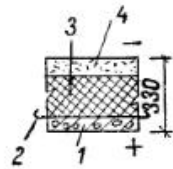
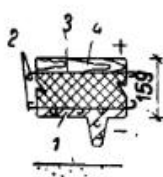
Для сравнения теплозащитных свойств указанных легких ограждений с широко применяемыми в последние годы в г. Якутске крупнопанельными конструкциями в коридоре здания установлена и исследована керамзитогазобетонная панель местного производства ($\delta=500 \text{ мм}$).

Конструкции чердачного и цокольного перекрытий также выполнены облегченными с утеплителем из минераловатных плит на синтетическом связующем. Основные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций экспериментального здания приведены в табл. 1, из которой видно, что

Таблица 1

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций экспериментального здания из объемных элементов

Конструкция	Схема	Слой	Толщина слоя, мм	Масса 1 м ² конструкции, кг	Сопротивление теплопередаче, м ² ·ч·°С/ккал		$\frac{R_{\text{расч}}}{R_0} \cdot 100\%$	Тепловая инерция D
					требуемое R_0	расчетное $R_{\text{расч}}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3-слойная наружная стена объемного элемента		1—железобетон 2—фибролит 3—железобетон	65 300 35	370	1,70	2,74	161 1,84*	6,60 108

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Керамзитогазобетонная панель		1—керамзитогазобетон 2—наружный слой из щебневой крошки	500	610	1,70	1,67	98	6,67	
2-слойная стена, утепленная пенопластом ПСБ		1—железобетон 2—пенопласт ПСБ 3—раствор	40	100	160	1,87	3,00	160	1,30
2-слойная стена, утепленная пенополиуретаном ППУ-3Н		1—железобетон 2—пенополиуретан ППУ-3Н	40	100	150	1,87	2,71	145	1,15
Чердачное перекрытие		1—железобетон 2—рубероид 3—плиты минераловатные 4—древесные опилки	30	200	155	2,55	5,50	216	4,74
Цокольное перекрытие		1—железобетон 2—рубероид 3—плиты минераловатные 4—доски чистого пола	30	100	140	2,08	2,24	108	2,27

* Расчетное сопротивление теплопередаче 3-слойной стены с учетом теплопроводных включений.

расчетное сопротивление теплопередаче всех ограждающих конструкций $R_0^{\text{расч}}$ выше требуемого $R_0^{\text{тп}}$.

Натурные теплотехнические исследования на экспериментальном здании проводились в декабре 1973 г. В период наблюдений температура наружного воздуха составляла минус 40—45°C. Ветер слабый, со скоростью, не превышающей 1,5—2,0 м/с. Вследствие низкого положения солнца над горизонтом и плотных туманов в этот период прямая солнечная радиация на наружные ограждающие конструкции почти не поступала.

Результаты наблюдений за температурным режимом стеновых ограждающих конструкций экспериментального здания,

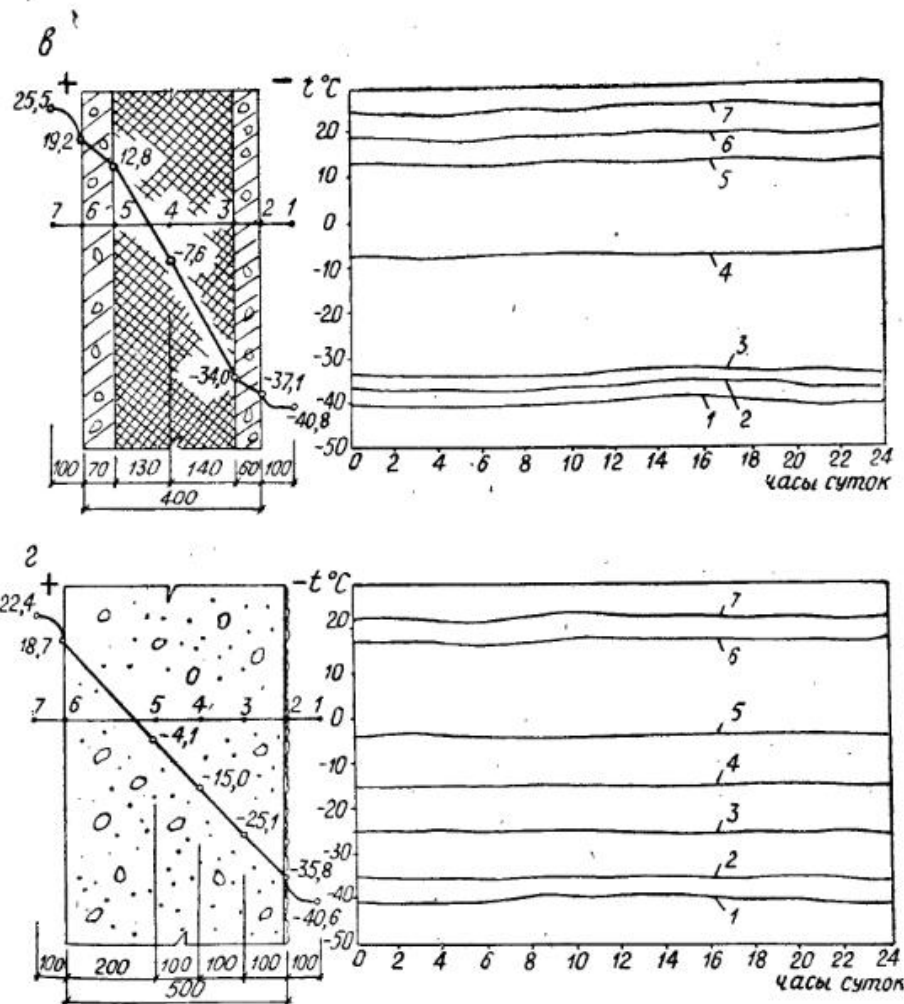
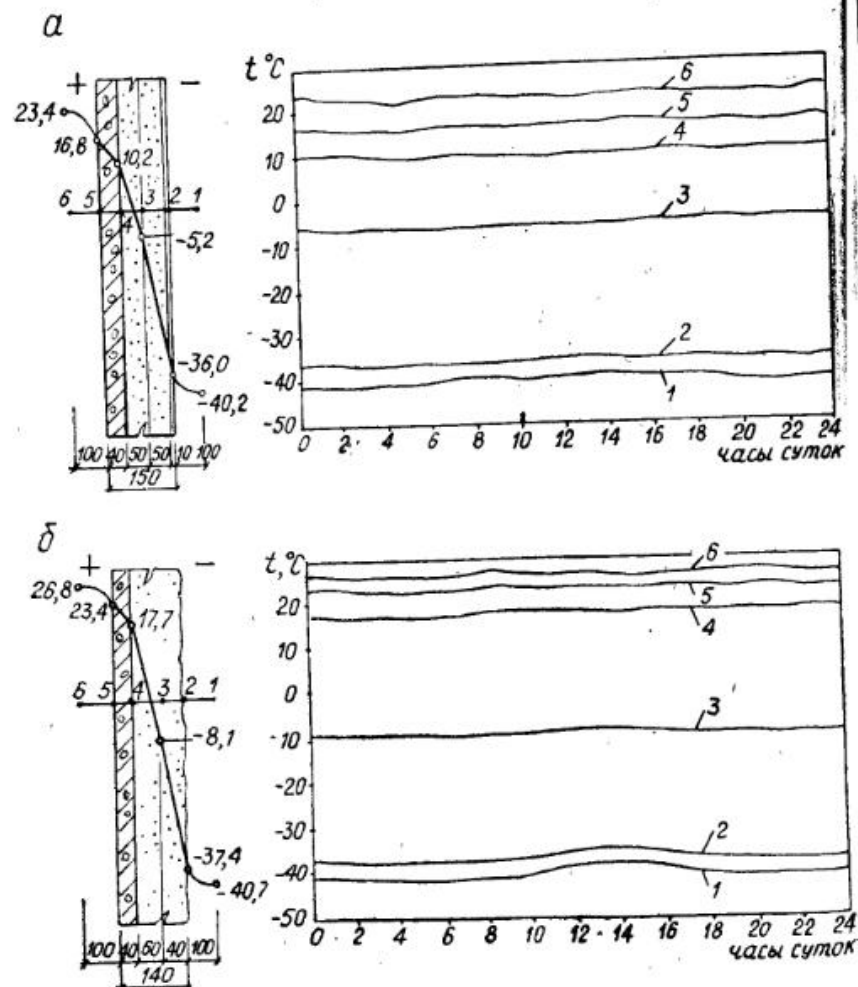


Рис. 2. Температурный режим ограждающих конструкций экспериментального здания из объемных элементов в г. Якутске:
 а—стена, утепленная пенопластом ПСБ; б—стена, утепленная пенополиуретаном ППУ-ЭН;
 в—3-слойная стена объемного элемента; г—керамзитгазобетонная панель.

проводившихся круглосуточно с 1 по 4 декабря 1973 г., представлены на рис. 2. Из графиков видно, что в наиболее холодный зимний период в ограждении любой ориентации устанавливается температурный режим, близкий к стационарному. Амплитуда колебаний температуры на наружной поверхности ограждений не превышает $\pm 2-3^\circ\text{C}$.

Наблюдения за тепловыми потоками, проходящими через

Таблица 2

Сопrotивление теплопередаче ограждающих конструкций
экспериментального здания из объемных элементов
(декабрь, 1973 г.)

Конструкция	Экспериментальные данные				Расчетное сопротивление теплопередаче $R_o^{расч}$, $\frac{м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C}{ккал}$	$\frac{R_o^\phi}{R_o^{расч}} \cdot 100\%$
	Средняя температура внутреннего воздуха $t_{в.ср.}$, $^\circ C$	Средняя температура наружного воздуха $t_{н.ср.}$, $^\circ C$	Удельный тепловой поток q , $\frac{ккал}{м^2 \cdot ч}$	Фактическое сопротивление теплопередаче R_o^ϕ , $\frac{м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C}{ккал}$		
Стена, утепленная пенополиуретаном ППУ-3Н	26,8	-40,7	27,8	2,42	2,71	89
Стена, утепленная пенопластом ПСБ	23,4	-40,2	38,8	1,64	3,00	55
3-слойная стена объемного элемента	25,5	-40,3	40,7	1,62	1,84	88
Керамзито-газобетонная панель	22,4	-40,6	44,6	1,41	1,67	84
Чердачное перекрытие	27,9	-36,5	9,5	6,79	5,50	123
Цокольное перекрытие	16,5	- 0,5	12,3	1,38	2,24	65

ограждающие конструкции, и их температурным режимом позволили выявить фактические теплозащитные свойства конструкций в реальных условиях эксплуатации (табл. 2).

При сравнении фактического сопротивления теплопередаче с расчетным видно, что у всех стеновых ограждений R_o^ϕ ниже $R_o^{расч}$. Наибольшее несоответствие между R_o^ϕ и $R_o^{расч}$ наблюдалось у стены, утепленной пенопластом ПСБ. Причиной ухудшения теплозащитных свойств этой стены явилось некачественное наклеивание пенопласта на бетонную поверхность. В некоторых местах при наклеивании листов пенопласта образовались воздушные прослойки, сообщающиеся через швы с холодным наружным воздухом, что резко снизило теплозащитные качества ограждения.

Пониженное сопротивление теплопередаче 3-слойной стены объемного элемента в первый год эксплуатации вызвано повы-

шенной влажностью утеплителя в этот период (влажностный режим конструкции будет рассмотрен ниже). Весьма низкое сопротивление теплопередаче наблюдалось у конструкции цокольного перекрытия, что также обусловлено повышенной влажностью утеплителя в первый год эксплуатации.

Средняя плотность керамзитогазобетонных стеновых панелей по проекту должна быть не более $\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$. Фактически же наблюдалась повышенная средняя плотность материала ($\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$), что явилось причиной ухудшения теплозащитных свойств керамзитогазобетонной панели. Сопротивление же теплопередаче чердачного перекрытия оказалось более высоким по сравнению с расчетным. Повышению теплозащитных свойств этого ограждения способствовала тщательная изоляция всех стыков минераловатных плит древесными опилками ($\delta = 100 \text{ мм}$).

Таким образом, проведенные наблюдения показали, что теплозащитные свойства ограждающих конструкций в реальных условиях эксплуатации могут существенно отличаться от проектных. Заметное влияние на их величину оказывает качество изоляционных работ и применяемых материалов.

Вместе с тем натурные исследования выявили преимущество легких ограждающих конструкций с эффективными утеплителями. Так, стена, утепленная пенополиуретаном, будучи в 4 раза легче керамзитогазобетонной панели, обладает значительно более высоким (\sim в 1,7 раза) сопротивлением теплопередаче, что особенно важно в условиях суровой и продолжительной зимы.

Наблюдения за влажностным режимом ограждающих конструкций экспериментального здания проводились в течение трех лет (1973—1975 гг.). Первоначально пробы отбирались в конце зимнего периода влагонакопления после первого года эксплуатации — в марте 1973 г., т. е. в период максимального увлажнения конструкций. Повторно пробы были взяты в октябре 1973 г., т. е. после летнего просушивания конструкций. Последующий анализ влажностного состояния ограждений производился через три года эксплуатации здания, в мае 1975 г.

Результаты исследований влажностного состояния ограждающих конструкций экспериментального здания представлены на рис. 3.

В первый год эксплуатации влажностное состояние трехслойной стены объемного элемента оказалось неудовлетворительным (рис. 3, а). В период максимального влагонакопления средняя влажность фибrolита составила 23,5%, а максимальная — 35,5%, тогда как по нормам СНиП средняя влажность фибrolита не должна превышать 15%, а максимальная местная влажность в зоне конденсации — 25%. При взятии проб 16 марта 1973 г. обнаружены кристаллы инея на границе между наружным бетонным слоем и утеплителем. Средняя влажность

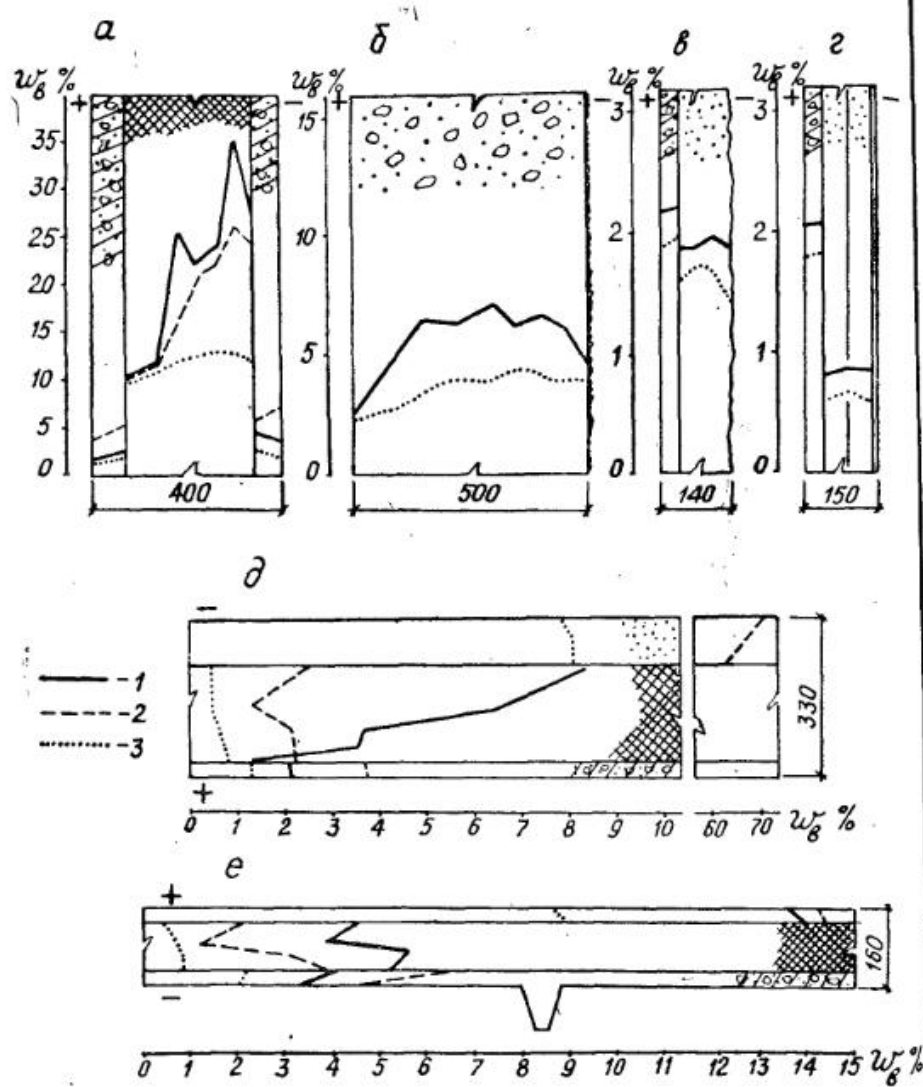


Рис. 3. Влажностный режим ограждающих конструкций экспериментального здания из объемных элементов в г. Якутске:
 а—3-слойная стена объемного элемента; б—керамзитогазобетонная панель; в—стена утепленная пенополиуретаном ППУ-3Н; г—стена, утепленная пенопластом ПСБ; д—чердачное перекрытие; е—цокольное перекрытие. Пробы взяты 16 марта 1973 г. (1), 12 октября 1973 г. (2) и 23 мая 1975 г. (3)

железобетонных слоев составила 2,3 (внутреннего) и 4,3% (наружного), что также превышало допускаемую по СНиП для плотного бетона—2,0%. При вскрытии трехслойной конструкции обнаружилось, что толщина внутреннего слоя фактически составила около 70 мм (по проекту 65 мм), а наружного 60—65 мм (по проекту 35 мм). При формировании объемных элементов было допущено отклонение от проекта. Утолщенный наружный слой железобетона значительно препятствует высыханию ограждения в летний период, а общее увеличение толщины железобетонных слоев приводит к сокращению толщины утеплителя и ухудшению теплозащитных свойств всего ограждения.

При повторном анализе осенью 1973 г. максимальная влажность утеплителя снизилась до 26,6%, а его средняя влажность составила 18,5%. Средняя влажность железобетонных слоев возросла до 4,7 (внутреннего) и 5,9% (наружного).

После трехлетней эксплуатации здания средняя влажность фибролита снизилась до 12,3%, а железобетонных слоев—до 1,7 (внутреннего) и 1,8% (наружного), т. е. влажностный режим трехслойной стены после трех лет эксплуатации здания нормализовался.

Керамзитогазобетонная панель находилась в более благоприятном влажностном состоянии (рис. 3, б). Средняя влажность керамзитогазобетона весной первого года эксплуатации составила 5,8%, а максимальная 7,2%. Нормы же допускают среднюю влажность керамзитобетона 10%, а максимальную, в зоне конденсации—12%. После трех лет эксплуатации средняя влажность керамзитогазобетона снизилась до 3,9%. Таким образом, влажностный режим керамзитогазобетонной панели полностью соответствует требованиям СНиП.

Влажностный режим легких стеновых конструкций, утепленных пенопластами, также удовлетворителен (рис. 3, в, г.). Средняя влажность пенополиуретана ППУ-3Н после первого года эксплуатации составила 1,8%, после третьего—1,6%, а пенопласта ПСБ—соответственно 0,8 и 0,6%, что вполне удовлетворяет нормам.

Конструкции чердачного и цокольного перекрытий в первый год эксплуатации находились в состоянии повышенной увлажненности (рис. 3, д, е). Средняя влажность минераловатных плит в чердачном перекрытии составляла 4,6%, в цокольном—4,5%. По СНиП средняя влажность минераловатных плит допускается не более 4,0%, т. е. имело место некоторое превышение нормируемой величины. Особенно высокой была первоначальная влажность древесных опилок в чердачном перекрытии— $w_v = 67\%$. Повышенная влажность наблюдалась и у бетонных слоев: в чердачном перекрытии—2,4%, в цокольном—3,6%.

После трех лет эксплуатации влажностный режим обеих

конструкций нормализовался. Средняя влажность минераловатных плит в чердачном перекрытии составила 0,6%, в докольном — 0,8%. Влажность древесных опилок снизилась до 8,0%, а бетонных слоев соответственно до 1,3% в чердачном и до 2,0% в докольном перекрытиях. Влажность досок чистого пола снизилась с 14,3 до 8,7%.

Таким образом, на основании проведенных наблюдений можно заключить, что в условиях сухого резко континентального климата Центральной Якутии влажностный режим ограждающих конструкций зданий, не имеющих больших внутренних влаговыделений, в течение первых двух-трех лет нормализуется.

Улучшение влажностного состояния ограждающих конструкций приводит, как известно, к повышению их теплозащитных свойств. С целью проверки этого положения на данном объекте в январе 1975 г. были проведены повторные наблюдения за температурным режимом и тепловыми потоками, проходящими через стеновые ограждающие конструкции. Исследовались: стена, утепленная пенополиуретаном, 3-слойная стена объемного элемента и керамзитогазобетонная панель. Результаты повторных испытаний представлены в табл. 3.

Как видно из приведенных данных, после трех лет эксплуа-

Таблица 3

Сопротивление теплопередаче стеновых ограждающих конструкций экспериментального здания из объемных элементов (январь 1975 г.)

Конструкция	Экспериментальные данные				Сопротивление теплопередаче по данным замеров в 1973 г. R_{ϕ}^{ϕ} $\frac{m^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}}$	$\frac{R_{\phi}^{\phi'}}{R_{\phi}^{\phi}}$ ·100%	$\frac{R_{\phi}^{\text{TP}}}{R_{\phi}^{\phi}}$ ·100%
	Средняя температура внутреннего воздуха $t_{в.ср.}$, °C	Средняя температура наружного воздуха $t_{н.ср.}$, °C	Удельный тепловой поток q , $\frac{\text{ккал}}{m^2 \cdot \text{ч}}$	Фактическое сопротивление теплопередаче $R_{\phi}^{\phi'}$ $\frac{m^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}}$			
Стена, утепленная пенополиуретаном	18,7	-41,4	22,4	2,69	2,42	111	144
3-слойная стена объемного элемента	19,7	-41,5	34,5	1,77	1,62	109	104
Керамзитогазобетонная панель	17,0	-41,5	37,1	1,58	1,41	112	93

тации здания фактическое сопротивление теплопередаче легких стеновых ограждающих конструкций $R_{\phi}^{\phi'}$ возросло на 9—11%, значительно приблизилось к $R_{\phi}^{\text{расч}}$ и на 4—44% превысило $R_{\phi}^{\text{т}}$.

Исследования микроклимата помещений экспериментального здания, проведенные в декабре 1973 г., позволили выявить некоторые особенности его температурного режима при низких температурах наружного воздуха. В первую очередь это относится к распределению температуры внутреннего воздуха по вертикали.

По требованиям СНиП II-3-79 перепад температур между уровнем 150 см от пола и его поверхностью не должен превышать 2,0°C. Данные натуральных наблюдений (рис. 4) показали, что при низких температурах наружного воздуха ($t_{н} = -42^\circ\text{C}$) перепад температур в помещениях здания по вертикали значительно превышал нормативную величину. Так, в центральных зонах помещений этот перепад составлял около 10°C, а в угловых зонах достигал 12—15°C, т. е. в 5—7 раз выше нормативного. Если в 150 см от пола температура воздуха была на уровне комфортной 20—24°C, то у поверхности пола наблюдалось резкое ее понижение: до 12—15°C в центральных зонах и до 5—12°C в угловых.

Одной из причин резкого понижения температуры в нижней зоне помещений является недостаточная герметизация входных дверей тамбура. Об этом свидетельствует наиболее значительное понижение температуры воздуха в нижней зоне коридора (рис. 4), где у поверхности пола она опускается до 0,8—3,5°C. Потоки холодного воздуха из коридора проникают в помещения здания и способствуют их охлаждению в нижней зоне. Существенному понижению температуры воздуха в нижней зоне помещений способствует также пониженное сопротивление теплопередаче конструкции докольного перекрытия (табл. 2).

Такое неблагоприятное распределение температуры по вертикали характерно для первых этажей многих зданий на Севере. Это подтверждается и исследованиями ряда авторов [17, 19, 176], проведенными в северных городах — Норильске, Красноярске и др. Одним из наиболее эффективных способов нормализации температурного режима полов первых этажей считают их обогрев [174]. Однако применение различных обогревающих систем в полах первых этажей в массовом масштабе связано с дополнительными материальными затратами и пока не получило широкого распространения.

Распределение температуры воздуха в помещениях экспериментального здания по горизонтали достаточно равномерное. Перепады температур на одном уровне в различных точках помещения не превышают 1,5—2,0°C, что вполне удовлетворяет гигиеническим требованиям.

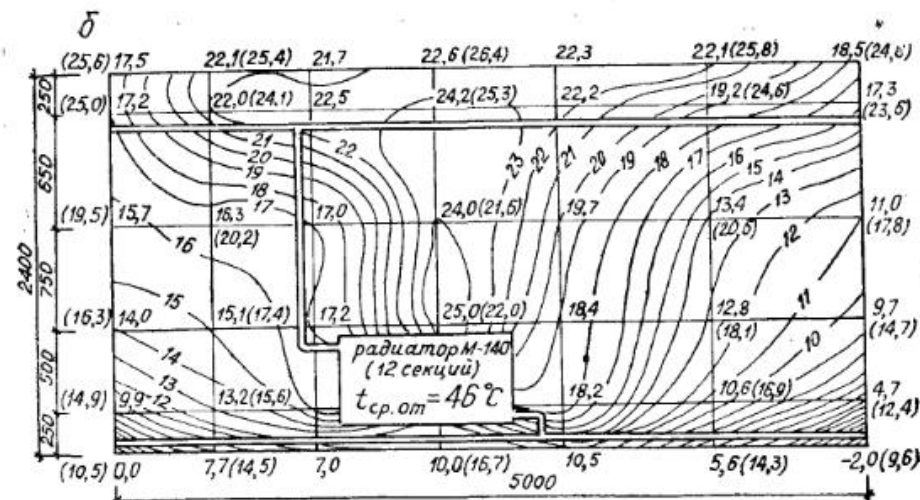
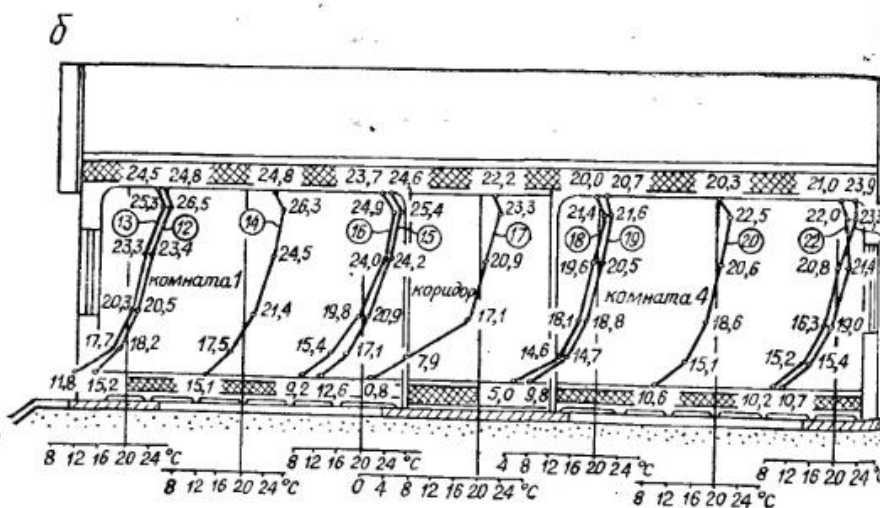
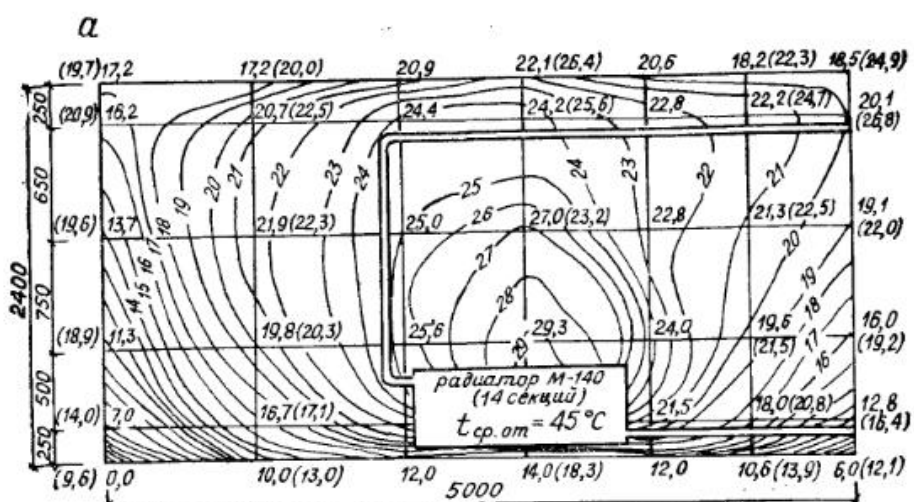
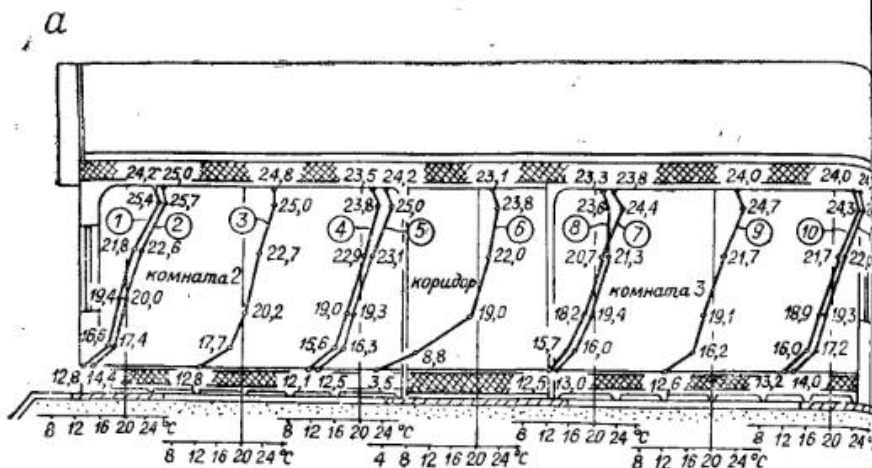


Рис. 4. Распределение температуры внутреннего воздуха по вертикали в помещениях экспериментального здания из объемных элементов в г. Якутске. Декабрь 1973 г.; $t_{н.ср} = -42^\circ\text{C}$

а—продольный разрез II—II (см. рис. 1); б—разрез III—III. (Цифры в кружках—места замеров температуры воздуха, показанные на плане—рис. 1).

Наблюдения за изменением температуры воздуха помещений во времени показали, что в зимний период суточные колебания ее составляли в среднем $\pm 1,5\text{--}2,0^\circ\text{C}$, что близко к норме (при центральном водяном отоплении суточные колебания температуры внутреннего воздуха не должны превышать $\pm 1,5^\circ\text{C}$ [177]). Средний уровень температур в центральной по

Рис. 5. Распределение температуры на внутренних поверхностях стен экспериментального здания из объемных элементов в г. Якутске. Декабрь 1973 г.; $t_{н.ср} = -42^\circ\text{C}$:

а—стена, утепленная пенополиуретаном ППУ-3Н (комната 1); б—стена, утепленная пенопластом ПСБ (комната 2). В скобках указана температура воздуха в соответствующих точках на расстоянии 10 см от поверхности стены

высоте зоне помещений $20\text{--}24^\circ\text{C}$, что также соответствует требованиям теплового комфорта.

Наблюдениями за относительной влажностью воздуха в помещениях экспериментального здания установлено, что она соответствует нижнему пределу гигиенических требований — $30\text{--}42\%$ [178].

Исследования температурных полей внутренних поверхностей ограждающих конструкций при низких температурах наружного воздуха показали их значительную неравномерность и позволили выявить наиболее охлажденные участки ограждений. На рис. 5 представлены температурные поля внутренних поверхностей стен, утепленных пенополиуретаном ППУ-3Н и пенопластом ПСБ, при $t_n = -42^\circ\text{C}$. Наиболее высокая температура поверхностей ($24-29^\circ\text{C}$) наблюдалась на участках, расположенных над отопительными приборами. В средних зонах стен на некотором удалении от отопительных приборов температура была $16-22^\circ\text{C}$, а перепад между температурой поверхности и внутреннего воздуха составлял от 0,6 до $3,6^\circ\text{C}$. Более низкая температура ($7-14^\circ\text{C}$) зафиксирована в нижних зонах ограждений, и температурный перепад в этих зонах значительно превышал нормативную величину: $11-14^\circ\text{C}$ по сравнению с 6°C по нормам. В нижних углах температура поверхностей опускалась до 0°C и отмечалось образование инея. Для устранения резкого охлаждения нижних зон легких ограждающих конструкций в районах Крайнего Севера необходимо предусматривать дополнительную теплоизоляцию цокольных узлов по периметру здания.

Летом 1973 г. во всех помещениях экспериментального здания из объемных элементов осуществлялась термографическая запись температуры внутреннего воздуха. Анализ записи показал, что при повышении температуры наружного воздуха до $32-34^\circ\text{C}$ во всех помещениях здания температура повышалась до $26-28^\circ\text{C}$, т. е. наблюдался существенный перегрев. Продолжительность периода с повышенными температурами воздуха в помещениях составляла около 20 дней. Причины перегрева — увеличенная площадь оконных проемов и малая теплоустойчивость легких ограждающих конструкций.

Основные выводы, которые можно сделать по результатам проведенных на данном объекте исследований, сводятся к следующему.

В наиболее холодный зимний период температурный режим ограждающих конструкций различной ориентации близок к стационарному.

В процессе эксплуатации влажностный режим всех ограждающих конструкций здания значительно улучшается, что приводит к повышению их теплозащитных свойств в среднем на 10%.

При обеспечении теплового комфорта помещений в зимний период главной проблемой является повышение температуры в нижней их зоне и выравнивание ее по объему (главным образом по вертикали). Там, где это возможно и целесообразно (в сборно-разборных, передвижных и других зданиях), необходимо шире использовать электрические (или другие) системы обогрева полов первых этажей. Вместе с тем необходим даль-

нейший поиск рациональных конструктивных решений цокольных перекрытий и их узлов для зданий стационарного типа повышенной герметичности и теплозащиты с целью улучшения их температурного режима без применения систем обогрева.

Летом в Центральной Якутии необходимо предусматривать меры по защите зданий с легкими ограждениями от перегрева.

Двухквартирные жилые здания из деревянных панелей в пос. Марха ЯАССР

Четыре первых деревянных двухквартирных жилых дома панельной конструкции построены Якутсельстроем в пос. Марха ЯАССР в 1972—1973 гг. Здания (рис. 6) возведены по экспериментальному проекту Э-181-83, разработанному ЦНИИЭПграждансельстроем для сельских районов Крайнего Севера [179]. Все квартиры зданий трехкомнатные, с хорошими архитектурно-планировочными показателями. Жилая площадь каждой квартиры — $41,7 \text{ м}^2$, полезная — $71,0 \text{ м}^2$. Высота помещений 2,7 м. В квартирах расширены вспомогательные помещения (кладовые, сушильные шкафы, коридоры), предусмотрено полное инженерное благоустройство. Отопление водяное, радиаторами М-140АО с нижней разводкой трубопроводов.

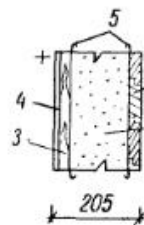
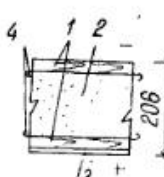
Панели зданий изготовлены на Мархинском заводе стройматериалов Якутсельстроя. Основой их служит деревянный каркас, выполненный из досок сечением $150 \times 50 \text{ мм}$. Каркас обшит с двух сторон древесными материалами — строганой доской и многослойной фанерой. В качестве утеплителей панелей применено: в первом здании — гипсоопилочная смесь ($\gamma = 500 \div 550 \text{ кг/м}^3$), во втором — строительный войлок ($\gamma = 150 \div 200 \text{ кг/м}^3$), в третьем и четвертом — минеральная вата ($\gamma = 150 \div 200 \text{ кг/м}^3$). Толщина утеплителя в панелях принята 150 мм. Размер панелей — $2940 \times 1490 \times 200 \text{ мм}$. Для повышения воздухопроницаемости, а также улучшения паро- и гидроизоляционных свойств конструкций с внутренней и наружной стороны панелей под обшивками прокладывались рубероид или полиэтиленовая пленка. Цокольное перекрытие в зданиях выполнено из двух рядов панелей, уложенных друг на друга.

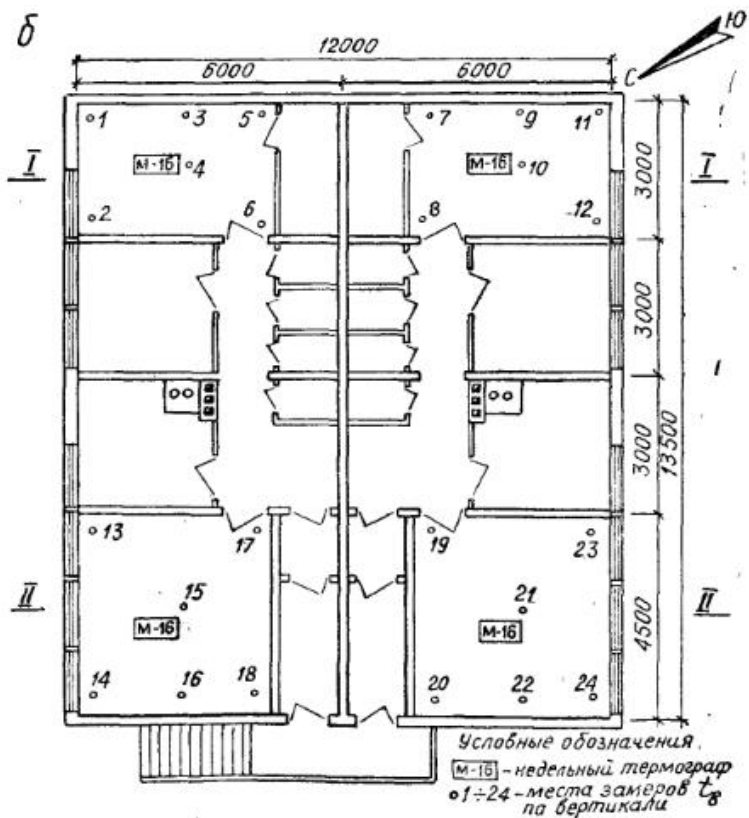
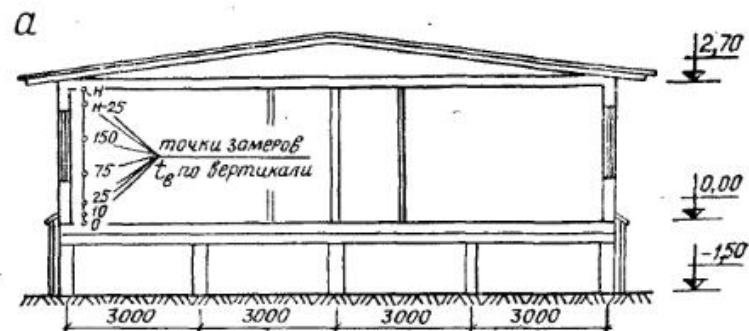
Основные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий приведены в табл. 4. Из нее видно, что ограждающие конструкции зданий (кроме первого) обладают высокими теплозащитными свойствами. Расчетное сопротивление теплопередаче конструкций ($R_{\text{расч}}$) на $24 \div 59\%$ превышает требуемое ($R_{\text{треб}}$) по СНиП.

В январе 1974 г. на данных панельных зданиях были проведены инструментальные теплотехнические исследования микроклимата помещений. В период исследований температура на-

Таблица 4

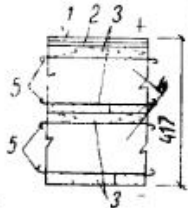
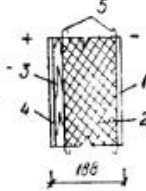
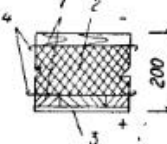
Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций
2-квартирных жилых зданий из деревянных панелей

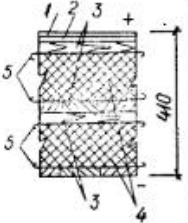
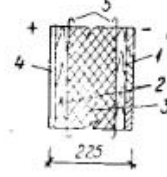
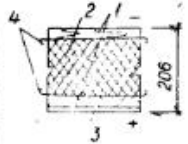
Здание	Конструкция	Схема	Слон	Толщина слоя, мм	Масса 1 м ² конструкции, кг	Сопротивление теплопередаче, м ² ·ч·°С/ккал		R ₀ расч R ₀ тр · 100%	Тепловая инерция D
						требуемое R ₀ тр	расчетное R ₀ расч		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	Наружная стена		1—доска строганая	19	110	2,04	1,87	92	4,61
I	Чердачное перекрытие		1—доска обрезная	2×20	111	2,55	1,88	74	4,64
	Цокольное перекрытие		1—линолеум	5					



Р и с. 6. Двухквартирный жилой дом из деревянных панелей в пос. Марха:

а — поперечный разрез; б — план

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			ционная ДВП 3—доска обрешечная 4—гипсоопилочная смесь 5—рубероид	20 4×20 2×150 4×3	223	5,00	3,80	76	9,43
	Наружная стена		1—фанера ФСФ 2—войлок строительный 3—доска обрешечная 4—сухая штукатурка 5—пленка полиэтиленовая	8 150 20 10 2×1				148	3,00
2	Чердачное перекрытие		1—доска обрешечная 2—войлок строительный 3—сухая штукатурка 4—пленка полиэтиленовая	2×20 150 10 2×1	60	2,60	3,19	122	3,31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Цокольное перекрытие		1—линолеум 2—изоляционная ДВП 3—доска обрешечная 4—войлок строительный 5—пленка полиэтиленовая	5 20 4×20 2×150 4×1	115	5,10	6,42	126	6,79
	Наружная стена		1—доска строганная 2—доска обрешечная 3—минеральная вата 4—сухая штукатурка 5—рубероид	19 2×20 150 10 2×3	77	2,08	3,39	163	3,35
3-4	Чердачное перекрытие		1—доска обрешечная 2—минеральная вата 3—сухая	2×20 150	66	2,60	3,23	124	2,85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			штукатурка	10					
			4-рубероид	2×3					
Цокольное перекрытие		1-доски чистого пола	29						
		2-лаги 50×50 мм	50						
		3-доска обрезная	4×20	136	5,10	6,60	129	6,10	
		4-минеральная вата	2×150						
		5-рубероид	4×3						

Примечание. R_0^{TP} стеновых панелей увеличено на 20%.

ружного воздуха составляла минус 40—50°C. Скорость ветра не превышала 1,5—2 м/с. Прямая солнечная радиация в этот период практически отсутствовала из-за плотных морозных туманов.

Анализ данных термографической записи, проводимой во всех угловых помещениях зданий, показал, что температура воздуха в средней зоне большинства помещений (на уровне 150 см от пола) 20—24°C, а ее суточные колебания не превышали 1,5—2,0°C.

Однако распределение температуры воздуха по объему помещений крайне неравномерное. Наибольшие температурные перепады наблюдались по вертикали. Перепад между температурой воздуха у пола и на высоте 150 см от его поверхности составил от 12,2 до 26,1°C, т. е. фактический температурный перепад оказался в 6÷13 раз больше нормативного, равного 2,0°C. Большая величина температурного перепада обусловлена крайне низкой температурой воздуха в нижней зоне помещений до высоты 0,5—0,6 м от пола. Как показал анализ распределе-

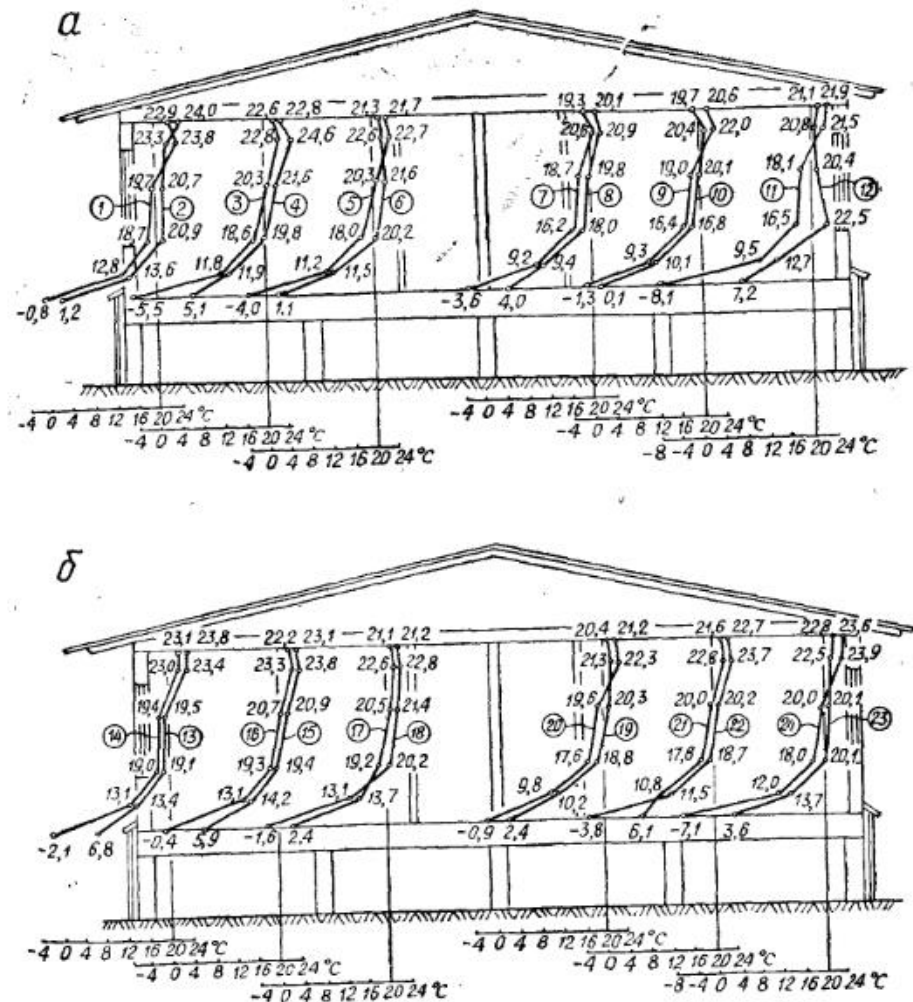


Рис. 7. Распределение температуры внутреннего воздуха по вертикали в помещениях 2-квартирного жилого здания из деревянных панелей в пос. Марха. Январь 1974 г., $t_{н.ср} = -46^\circ\text{C}$. Здание 3:

а-разрез I-I (см. рис. 6); б-разрез II-II. (Цифры в кружках-места замеров температуры воздуха, показанные на плане-рис. 6)

ния температуры воздуха по вертикали в различных местах помещений (рис. 7), наиболее низкие (—3, —4°C) температуры воздуха у пола отмечены по периметру помещений, т. е. в зонах стыков стеновых панелей с панелями цокольного перекрытия, а в зонах наружных углов температура опускалась даже до —7, —8°C. В центральных зонах помещений темпера-

тура воздуха у пола несколько выше ($1\div 5^{\circ}\text{C}$), чем в зонах стыков, но все же недопустимо низка для нормального проживания людей. Аналогичный характер распределения температуры воздуха по вертикали наблюдался во всех обследованных помещениях четырех зданий.

Основной причиной резкого понижения температуры воздуха в нижней зоне помещений явилась высокая воздухопроницаемость стыков между стеновыми панелями и панелями цокольного перекрытия. Стыки запроектированы с применением большого количества брусков и вкладышей с множеством швов, значительная часть которых оказалась недоступной для тщательной заделки при строительстве [28].

Наблюдения за распределением температуры на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций показали,

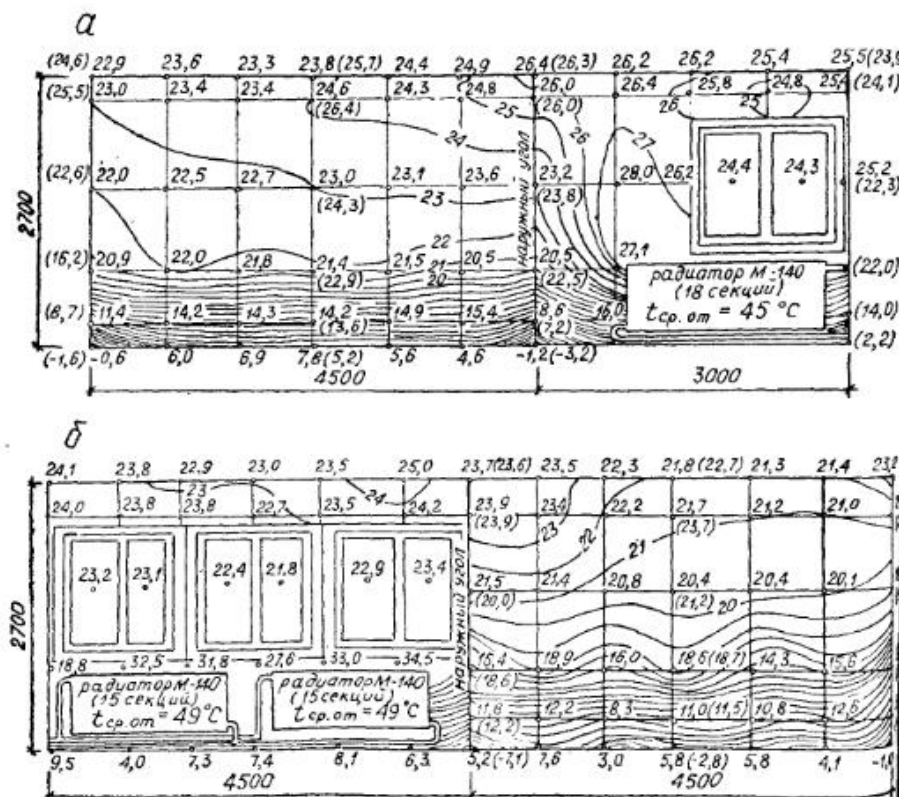


Рис. 8. Распределение температуры на внутренних поверхностях стен 2-квартирного жилого здания из деревянных панелей в пос. Марха, Январь 1974 г., $t_{н.ср} = -42^{\circ}\text{C}$. Здание 4:

а — развертка наружных стен угловой комнаты юго-восточной ориентации; б — развертка наружных стен угловой комнаты юго-западной ориентации. (Цифры в скобках — температура воздуха в соответствующих точках на расстоянии 10 см от поверхности стены)

что в средней и верхней зонах (от 75 до 170 см) температура поверхности стен достаточно высокая $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ (рис. 8). Перепад между температурой поверхности стен и температурой воздуха в 10 см от нее в этих зонах не превышает $2,5^{\circ}\text{C}$, что указывает на достаточно хорошие теплозащитные свойства ограждений. Резкое понижение температуры поверхности стен установлено в их нижней зоне (до 75 см от пола). Температура поверхности стен у пола в средней части опускалась до $5\text{--}8^{\circ}\text{C}$, а в углах — до $-0,6\text{--}1,2^{\circ}\text{C}$ (рис. 8), где наблюдалось образование инея. Аналогичное распределение температуры отмечено и на других поверхностях обследованных зданий.

Наблюдения за влажностным режимом показали, что относительная влажность воздуха в помещениях очень низка — $8\text{--}16\%$. Объясняется это большим поступлением сухого (по абсолютной влажности) холодного воздуха через цокольные стыки.

Из сказанного видно, что вопросам повышения теплозащитных свойств и воздухо непроницаемости стыков панелей в легких зданиях должно быть уделено самое серьезное внимание. «Сложные» стыки с многочисленными брусками и вкладышами нетехнологичны, не поддаются хорошей герметизации и в условиях эксплуатации не обеспечивают нормального температурного режима в зданиях. Поэтому стыки подобной конструкции не следует проектировать для легких зданий на Крайнем Севере. Наблюдениями автора на других объектах установлено, что более надежно работают прямые стыки панелей, простые в изготовлении и доступные тщательной изоляции. Такие стыки предпочтительнее в северном строительстве.

На основании результатов исследований, проведенных на двухквартирных панельных зданиях, можно сделать следующие выводы.

В наиболее холодный зимний период суточные колебания температуры внутреннего воздуха в помещениях зданий не превышают $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$.

Уровень температуры в средней по высоте зоне большинства помещений обследованных зданий находится в пределах нормы. Стеновые панельные ограждения имеют достаточно хорошие теплозащитные свойства, о чем свидетельствует малый (менее $2,5^{\circ}\text{C}$) перепад между температурой их внутренней поверхности и температурой внутреннего воздуха.

В холодный зимний период в панельных зданиях крайне неравномерно распределение температуры воздуха по вертикали за счет резкого понижения температуры в нижней зоне помещений. Температурный перепад по вертикали в 6—13 раз выше нормативного. Главная причина — низкие теплозащитные качества цокольных стыков.

Относительная влажность воздуха в 2—3 раза ниже оптимальной — $8\text{--}16\%$. Это связано с инфильтрацией сухого холодного воздуха через стыковые соединения.

Двадцатичетырехквартирный панельный жилой дом и общежитие на 50 мест из деревянных объемных элементов в пос. Сангар ЯАССР

В 1973—1974 гг. Якутсельстроем в пос. Сангар Якутской АССР построено несколько жилых и общественных зданий в панельном и объемно-блочном исполнении: 12- и 24-квартирные панельные жилые дома, общежитие на 50 мест из деревянных объемных элементов, многоквартирный объемно-блочный жилой дом в двух уровнях и другие. В декабре 1974 г. автором были проведены зимние натурные теплотехнические исследования на двух объектах: 24-квартирном жилом здании из деревянных панелей и общежитии на 50 мест из деревянных объемных элементов.

Конструктивное решение стеновых панелей 24-квартирного жилого здания следующее: деревянный каркас, выполненный из досок сечением 120×50 мм, с внутренней стороны обшит водостойкой фанерой ФСФ (δ=8 мм), а с наружной — строганой доской (δ=19 мм). В полости между ребрами каркаса и обшивками уложен утеплитель — пенопласт ФРП-1 (δ=120 мм). Между утеплителем и обшивками с двух сторон проложен рубероид. Размеры стеновых панелей — 1200×2700×147 мм.

Стеновые ограждающие конструкции деревянных объемных элементов, разработанных Южгипронисельстроем для районов Крайнего Севера, несколько отличаются от панельных. Силовой

брусковый каркас объемного элемента с внутренней стороны обшит строганой доской (δ=19 мм). Затем проложена пароизоляция — слой рубероида и в полости между элементами каркаса уложены плиты пенопласта ФРП-1 (δ=100 мм). Для придания блоку поперечной жесткости силовой каркас с внешней стороны обшит водостойкой фанерой ФСФ (δ=8 мм). Далее проложен слой дополнительной теплоизоляции — пенопласт ФРП-1 (δ=40 мм), а с наружной стороны объемный элемент также обшит строганой доской (δ=19 мм). Общая толщина ограждения 186 мм.

Данные многослойные ограждающие конструкции в 4—6 раз легче брусчатых стен и обладают более высокими теплозащитными свойствами (табл. 5). Их расчетное сопротивление теплопередаче в 1,6—1,9 раза выше, чем сопротивление теплопередаче брусчатой стены.

Натурные исследования проводились в угловой комнате северо-восточной ориентации на первом этаже 24-квартирного жилого здания (рис. 9) и в угловой комнате юго-восточной ориентации на втором этаже общежития из объемных элементов (рис. 10). Исследовалось также распределение температуры по объему других помещений здания из объемных элементов в центральной и торцевой его частях на первом и втором этажах.

В период натурных исследований с 15 по 24 декабря 1974 г. стояла морозная безветренная погода с плотными туманами. Температура наружного воздуха составляла минус 46—48°C. Солнечная радиация отсутствовала.

Таблица 5

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций

Конструкция	Толщина, мм	Масса 1 м ² конструкции, кг	Сопротивление теплопередаче, м ² ·ч·°С/ккал		$\frac{R_{расч}}{R_{отр}} \cdot 100\%$	Тепловая инерция D
			требуемое $R_{отр}$	расчетное $R_{расч}$		
Наружная стена брусчатого здания	240	146	1,73	2,05	118	6,12
Наружная стена 24-квартирного жилого здания	147	23	2,29	3,33	145	1,68
Наружная стена здания из объемных элементов	186	34	2,29	3,95	173	2,32

Примечание. $R_{отр}$ наружных стен панельного и объемно-блочного зданий увеличено на 30%.

Таблица 6

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Конструкция	Экспериментальные данные				$\frac{R_{расч}}{R_{отр}} \cdot 100\%$	$\frac{R_{ф}}{R_{отр}} \cdot 100\%$
	Средняя температура внутреннего воздуха $t_{в.ср.}$, °С	Средняя температура наружного воздуха $t_{н.ср.}$, °С	Удельный тепловой поток q , ккал/м ² ·ч	Фактическое сопротивление теплопередаче $R_{ф}$, м ² ·ч·°С/ккал		
Наружная стена 24-квартирного жилого здания	17,6	-47,9	16,1	4,07	122	178
Наружная стена здания из объемных элементов	22,6	-46,9	16,2	4,29	109	187

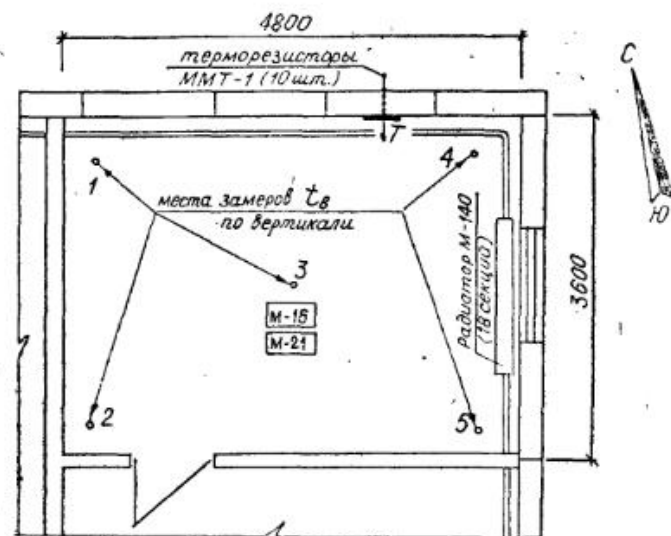


Рис. 9. План опытной комнаты северо-восточной ориентации на первом этаже 24-квартирного жилого здания из деревянных панелей в пос. Сангар.

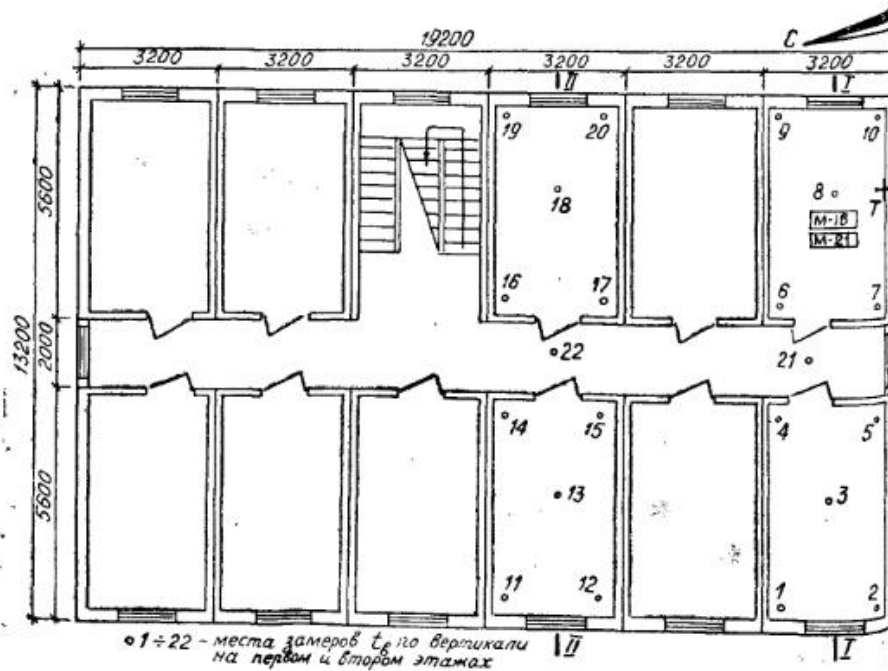


Рис. 10. План второго этажа общежития на 50 мест из деревянных объемных элементов в пос. Сангар

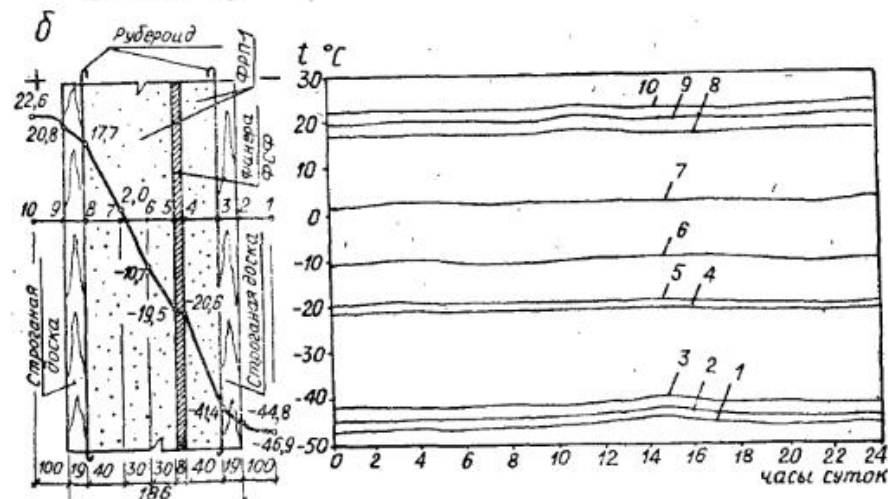
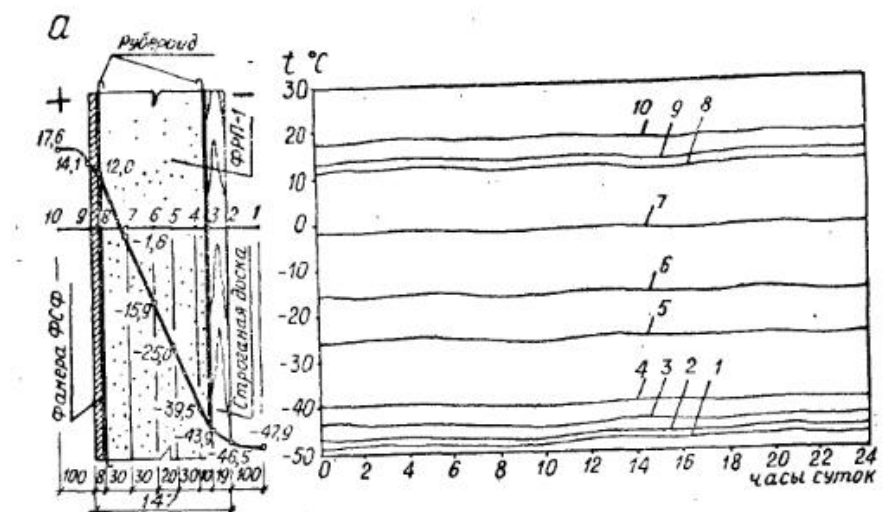


Рис. 11. Температурный режим стеновых ограждающих конструкций исследованных зданий в пос. Сангар. Декабрь 1974 г.

а — наружная стена северной ориентации 24-квартирного жилого здания из деревянных панелей; б — наружная стена южной ориентации общежития из объемных элементов

Наблюдения за температурным режимом по толщине ограждающих конструкций показали, что независимо от ориентации стены в наиболее холодный зимний период он близок к стационарному (рис. 11). Амплитуда суточных колебаний температуры на наружной поверхности ограждений не превышала 3—4°C.

Наблюдения за тепловыми потоками, проходящими через ограждения, и за их температурным режимом позволили выя-

вить фактические теплозащитные свойства стеновых ограждений. В табл. 6 приведены значения сопротивления теплопередаче ограждений, полученные по результатам натурных исследований, в сравнении с расчетными.

Фактическое сопротивление теплопередаче панельной конструкции составило $4,07 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$, что на 22% выше расчетного и на 78% выше требуемого по нормам. Высокое сопротивление теплопередаче ($4,29 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C} / \text{ккал}$) наблюдалось и у стены здания из объемных элементов. Оно также на 9% выше расчетного и на 87% выше требуемого. Повышение фактического сопротивления теплопередаче против расчетного объясняется тем, что коэффициент теплопроводности утеплителя в действительности оказался $0,036-0,038 \text{ ккал} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$, что на 10-15% ниже нормативного, принимаемого равным $0,042 \text{ ккал} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$ [27, 173]. Таким образом, исследования показали, что данные ограждающие конструкции обладают высокими теплозащитными свойствами.

В период натурных наблюдений контролировалось влажностное состояние ограждений (рис. 12). Влажность водостойкой фанеры ФСФ в панельной конструкции составила 5,7% (рис. 12, а), в объемно-блочной — 7,6% (рис. 12, б). Влажность древесных обшивок в обеих конструкциях находилась в пределах 9,3—9,8%. Влажность утеплителя ФРП-1 изменялась по

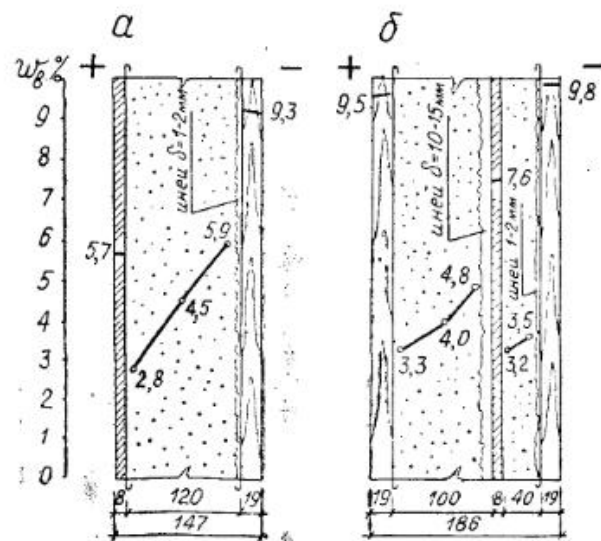


Рис. 12. Влажностный режим стеновых ограждающих конструкций исследованных зданий в пос. Сангар. Декабрь 1974 г.:

а—наружная стена 24-квартирного жилого здания из деревянных панелей; б—наружная стена общежития из объемных элементов

толщине конструкций: наименьшая (2,8—3,3%) отмечена у внутренней поверхности, по мере приближения к наружной поверхности она возрастала до 5,9% в панельной конструкции и до 4,8% в объемно-блочной. По нормам СНиП при нормальных условиях эксплуатации допускается влажность клееной фанеры до 10%, древесины до 15%, пенопласта ФРП-1 до 5%, следовательно, влажность материалов ограждений почти соответствует нормам. Однако при вскрытии конструкций отмечено, что на внутренних поверхностях наружных обшивок образовалась прослойка иная, наиболее обильная, толщиной 10—15 мм, на внутренней поверхности фанеры ФСФ в объемно-блочной конструкции (рис. 12, б). Прослойка иная толщиной в 1—2 мм обнаружена и на внутренних поверхностях внешней прокладки рубероида в обеих конструкциях. Как показали данные исследования, наличие прослойки иная в первый год эксплуатации существенно не отразилось на величине общего сопротивления теплопередаче ограждений, однако в дальнейшем ежегодное систематическое образование иная в зимний период и увлажнение утеплителя при его таянии весной может привести к ухудшению теплозащитных качеств ограждений, особенно объемно-блочного здания.

Наблюдения за температурой воздуха в опытном помещении здания панельной конструкции показали, что ее средний уровень $17-18^{\circ}\text{C}$. Такая температура воздуха в помещении для северных районов в зимний период является несколько заниженной. Оптимальной считается температура $21-22^{\circ}\text{C}$. Колебания температуры внутреннего воздуха во времени незначительны — не более $\pm 1-1,5^{\circ}\text{C}$. Распределение температуры воздуха по объему помещения более равномерное, чем в рассмотренных ранее зданиях. У поверхности пола температура воздуха составляла $11-14^{\circ}\text{C}$ (рис. 13), а перепад ее на высоте 150 см от пола и у его поверхности равен $4-6^{\circ}\text{C}$. Однако такой перепад в 2—3 раза выше нормативного.

Цокольное перекрытие этого здания выполнено не в панельном варианте, а в брусчатом с использованием в качестве утеплителя керамзитовой засыпки толщиной 400 мм. Меньшее количество стыков и швов в цокольном перекрытии привело к некоторому улучшению температурного режима пола, но обеспечить нормативные температуры на его поверхности не удалось. Недостатком этой конструкции является ее неиндустриальность и большой расход материалов, поэтому необходима рациональная конструкция цокольного перекрытия в панельном исполнении с улучшенными теплозащитными свойствами.

Подробные наблюдения за распределением температуры по объему были проведены в помещениях здания из деревянных объемных элементов (рис. 14). Исследовались помещения на первом и втором этажах в торцевой и центральной частях зда-

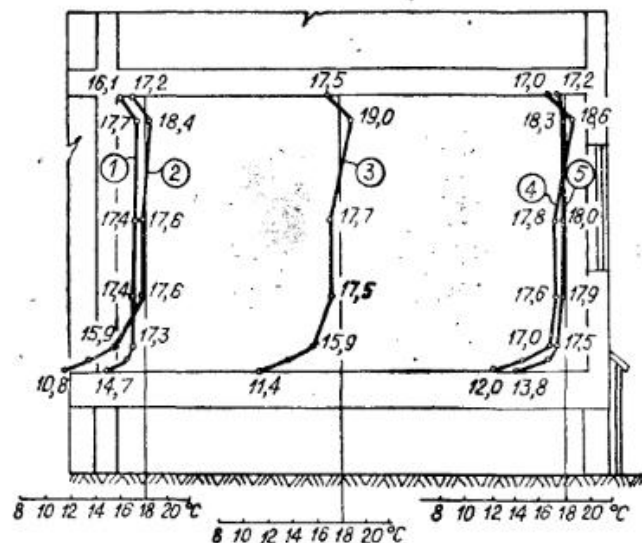


Рис. 13. Распределение температуры внутреннего воздуха по вертикали в опытной комнате 24-квартирного жилого здания из деревянных панелей в пос. Сангар. Декабрь 1974 г., $t_{н.ср} = -47^{\circ}\text{C}$. (Цифры в кружках—места замеров температуры воздуха, показанные на плане—рис. 9)

ния. Исследования показали, что в помещениях второго этажа температура в средней по высоте зоне $20-24^{\circ}\text{C}$, т. е. равна комфортной, в помещениях же первого этажа несколько понижена $16-21^{\circ}\text{C}$. Интересно отметить, что температурный перепад между отметкой 150 см от пола и у его поверхности в помещениях второго этажа также составлял $4-6^{\circ}\text{C}$, т. е. в 2-3 раза выше нормы. Следовательно, несмотря на то, что пол помещений второго этажа является «теплым» и не граничит непосредственно с наружным воздухом, его температурный режим не достигает нормативного. Объяснение этому следует искать в особенностях конвективного теплообмена в помещениях и в здании в целом. Потoki холодного воздуха, проникающего через окна, стыки, двери и вентиляционные отверстия, застаиваются в нижней зоне помещений, охлаждая их.

На первом этаже охлаждение нижней зоны выражено значительно ярче (рис. 14). Температура воздуха у пола в помещениях торцевой части здания опускалась до $2-8^{\circ}\text{C}$, а в помещениях центральной части до $7-15^{\circ}\text{C}$. Наиболее низкие температуры воздуха у пола зафиксированы в коридоре — до $0,9^{\circ}\text{C}$ в центральной части и до $1,6^{\circ}\text{C}$ в торцевой части здания. Холодный воздух, проникая из коридора через двери в помещения, значительно охлаждает их нижние зоны. Несмотря на на-

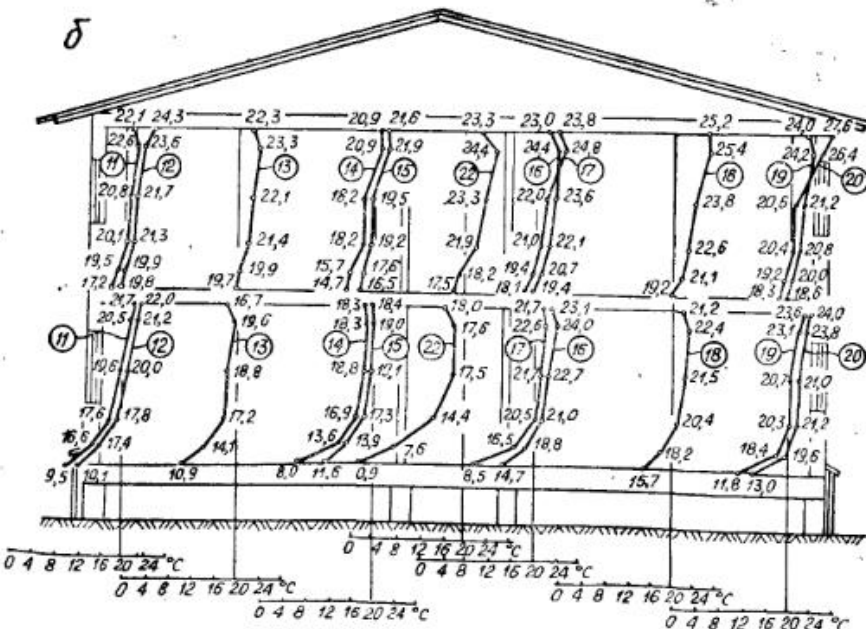
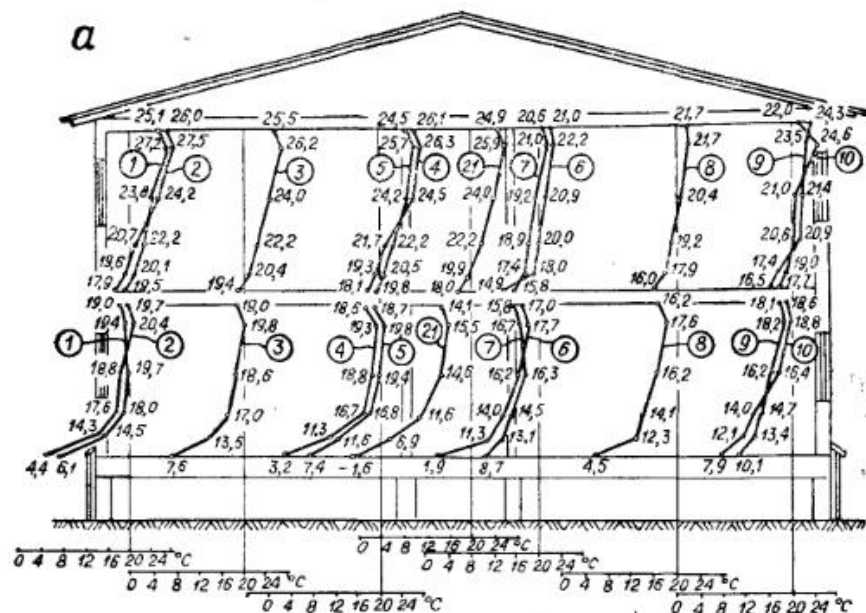


Рис. 14. Распределение температуры внутреннего воздуха по вертикали в помещениях общежития из деревянных объемных элементов в пос. Сангар. Декабрь 1974 г., $t_{н.ср} = -47^{\circ}\text{C}$: а—разрез I—I (см. рис. 10); б—разрез II—II. (Цифры в кружках—места замеров температуры воздуха, показанные на плане—рис. 10).

личие тамбуров в коридорах, удовлетворительного температурного режима и герметизации входных дверей не достигнуто.

Наблюдения за влажностным режимом показали, что относительная влажность воздуха и в здании панельной конструкции и в здании из объемных элементов ниже нормативной: 20—30% — в опытной комнате 24-квартирного жилого здания, 15—30% — в помещениях первого этажа и несколько выше (25—40%) в помещениях второго этажа объемно-блочного общежития. По сравнению с панельными зданиями в пос. Марха в данных зданиях более высокая влажность воздуха. Это объясняется тем, что они были недавно сданы в эксплуатацию и еще сохранилась «строительная» влага.

Исследования температурного поля на внутренней поверхности наружной стены 24-квартирного жилого здания (рис. 15, а) показали, что температура поверхности в точках, удаленных от стыков панелей и ребер каркаса, в среднем 14—16°C, а в зонах стыковых соединений и ребер на 1,5—2,0°C ниже. Таким образом, при ширине деревянных элементов каркаса панелей в 120 мм (что равно толщине утеплителя) охлаждающее действие стыков панелей становится уже заметным, следовательно, данная толщина панелей и тем более ее дальнейшее уменьшение нежелательны из-за местного охлаждения в зонах стыков, несмотря на то, что сопротивление теплопередаче на участках, удаленных от стыков, достаточно высокое (табл. 6). При применении панелей с деревянным каркасом ширину его ребер следует принимать не менее 150 мм.

Распределение температуры на внутренней поверхности наружной стены общежития из объемных элементов более равномерное (рис. 15, б). Наблюдалось постепенное понижение температуры от верхнего наружного угла к нижнему внутреннему с 22 до 14°C. Температурный перепад «ограждение — воздух» незначителен — 1,5—2,0°C, что указывает на высокие теплозащитные свойства этой конструкции.

По результатам зимних теплотехнических исследований, проведенных на двух объектах в пос. Сангар, можно сделать следующие выводы.

Многослойные ограждающие конструкции панельного и объемно-блочного зданий с утеплителем ФРП-1 обладают высокими теплозащитными свойствами, однако в панельном здании в зонах стыков панелей и элементов их каркаса наблюдалось заметное понижение температуры внутренней поверхности. При проектировании панелей с деревянным каркасом для районов Крайнего Севера ширину его ребер следует принимать не менее 150 мм.

Влажность материалов ограждений в первую зиму эксплуатации находилась в пределах нормы, однако образование слюней до 10—15 мм в ограждении здания из объемных элементов может привести к увлажнению утеплителя и ухудшению

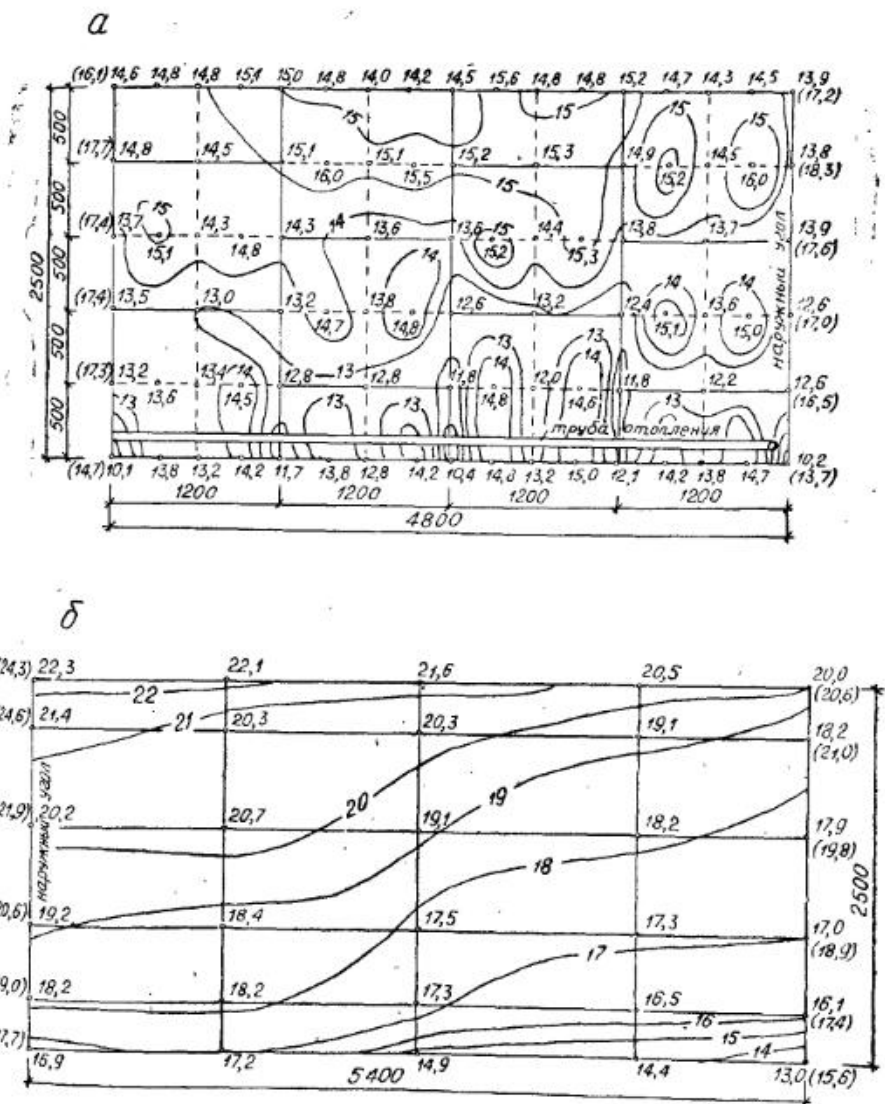


Рис. 15. Распределение температуры на внутренних поверхностях стеновых ограждающих конструкций исследованных зданий в пос. Сангар. Декабрь 1974 г., $t_{н.ср} = -47^{\circ}\text{C}$: а — наружная стена северной ориентации опытной комнаты 24-квартирного жилого здания из деревянных панелей; б — наружная стена южной ориентации угловой комнаты на втором этаже общежития из объемных элементов

его теплозащитных свойств. Данную конструкцию ограждения следует изменить. Более плотный слой водостойкой фанеры ФСФ необходимо располагать с внутренней стороны помещения, что позволит увеличить паронепроницаемость конструкции.

Температурный режим ограждений различной ориентации в наиболее холодный зимний период близок к стационарному.

В панельном жилом здании при применении конструкции цокольного перекрытия в традиционном брусчатом исполнении с утеплителем из керамзитовой засыпки толщиной 400 мм температурный режим полов несколько улучшается, но не достигает нормативных значений. Серьезные недостатки этой конструкции, такие как неиндустриальность, большая масса и расход строительных материалов, не позволяют рекомендовать ее для зданий заводского изготовления. Необходима панельная конструкция цокольного перекрытия с улучшенными теплозащитными свойствами.

При проектировании зданий на Крайнем Севере следует особое внимание уделять решению входных узлов и их герметизации.

Двенадцатиквартирный жилой дом из деревянных панелей в г. Якутске

В сентябре 1974 г. в г. Якутске был сдан в эксплуатацию 12-квартирный жилой дом из деревянных панелей, построенный Якутсельстройем. Здание двухэтажное, двухсекционное, с одно-, двух- и трехкомнатными квартирами (рис. 16). Отопление здания водяное, радиаторами М-140 АО. Панели здания изготовлены на Мархинском заводе строительных материалов и конструкций треста Якутсельстрой. Конструктивное решение стеновых панелей, примененных на первом и втором этажах, различное. Отличие заключается в использованных утеплителях и их расположении в конструкции. Для утепления стеновых панелей первого этажа были использованы древесноволокнистые изоляционные плиты ($\gamma = 350 \text{ кг/м}^3$), уложенные вплотную друг к другу (7 слоев по 10 мм) с наружной стороны панели (рис. 17, а). С внутренней стороны панели оставлена воздушная прослойка толщиной 80 мм. Обшивки панелей выполнены из обрезных досок ($\delta = 20 \text{ мм}$) по деревянному каркасу, состоящему из элементов сечением $150 \times 50 \text{ мм}$. Между обшивками и утеплителем с обеих сторон панели проложен слой рубероида. После монтажа панелей с внутренней стороны они оштукатуривались известково-песчаным раствором, а с наружной обшивались строганой доской. Таким образом, общая толщина стеновых панелей составила 224 мм.

Стеновые панели второго этажа утеплены древесноволокнистыми изоляционными плитами (4 слоя по 17,5 мм), распо-

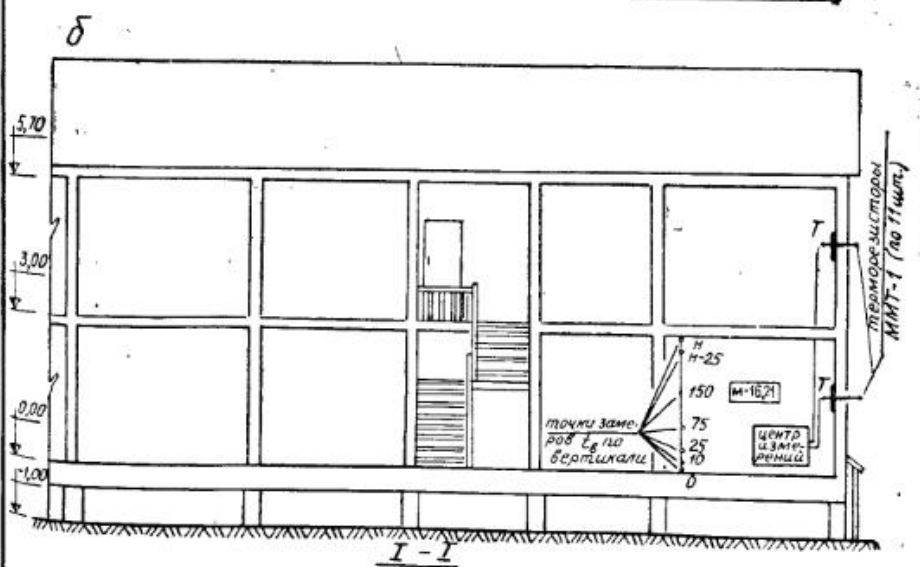
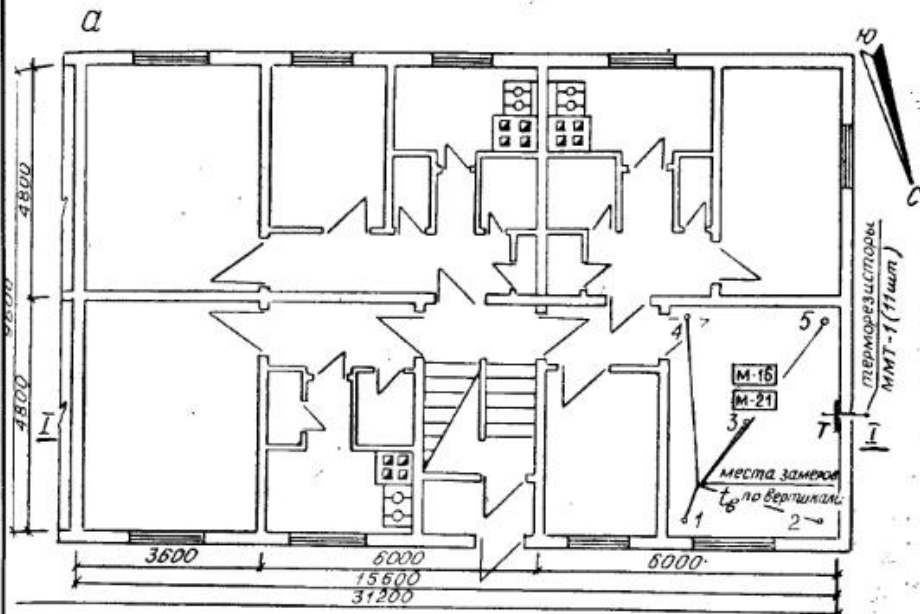


Рис. 16. 12-квартирное жилое здание из деревянных панелей в г. Якутске:
а—план секции первого этажа; б—продольный разрез секции I-I

Теплотехнические характеристики стеновых деревянных панелей 12-квартирного жилого дома

Конструкция	Толщина, мм	Масса 1 м ² конструкции, кг	Сопротивление теплопередаче, м ² · ч · °С/ккал		R ₀ ^{расч} / R ₀ ^{тp} · 100%	Тепловая инерция D
			требуемое R ₀ ^{тp}	расчетное R ₀ ^{расч}		
Стеновая панель первого этажа	224	90	2,08	1,78	86	3,67
Стеновая панель второго этажа	224	103	2,04	3,35	164	4,98

Примечание: R₀^{тp} увеличено на 20%.

Расчетные характеристики стеновых конструкций здания представлены в табл. 7.

Из табл. 7 видно, что благодаря применению минераловатных плит в стеновых панелях второго этажа вместо воздушной прослойки расчетное сопротивление теплопередаче этой конструкции увеличилось почти вдвое, а масса панели возросла только на 15%.

Конструкция цокольного перекрытия здания выполнена в брусчатом варианте, с утепляющей засыпкой — керамзитовым гравием ($\gamma = 550 \text{ кг/м}^3$) толщиной 400 мм. Конструкции междуэтажного и чердачного перекрытий также выполнены в брусчатом варианте с керамзитовой засыпкой. Таким образом, здание построено по комбинированной схеме с обычным брусчатым решением всех перекрытий и панельными наружными и внутренними стенами.

В стеновых панелях западной ориентации на первом и втором этажах были установлены датчики температуры и тепломеры (рис. 16). Коммутационная схема позволяла проводить измерения в угловой комнате первого этажа, где и были организованы основные теплотехнические исследования. Натурные наблюдения на данном объекте проводились в январе 1975 г. В период наблюдений температура наружного воздуха была минус 42—48°C. Ветер слабый, со скоростью 1—2 м/с. Солнечная радиация почти отсутствовала.

Температурный режим стеновых ограждающих конструкций здания в наиболее холодный зимний период, как показали наблюдения, близок к стационарному (рис. 17). Амплитуда колебаний температуры на поверхностях ограждений не превышала 1—3°C.

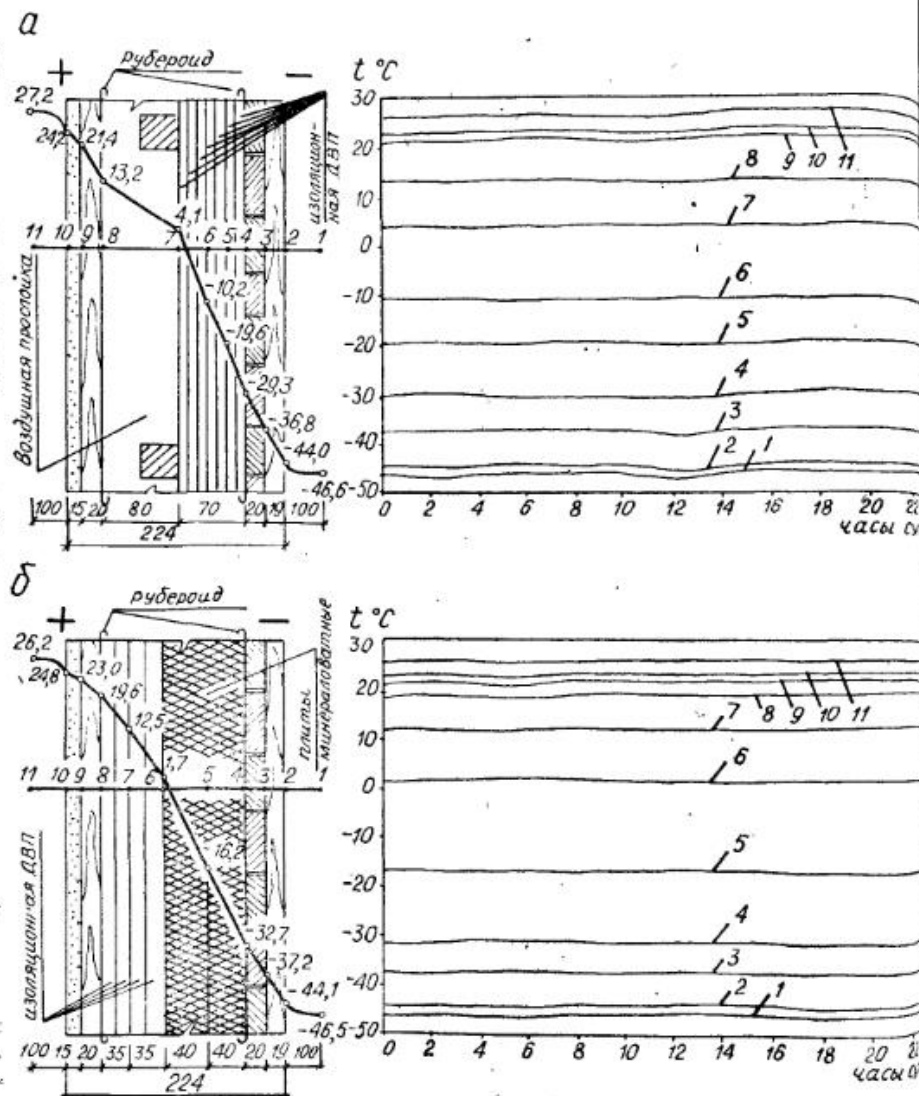


Рис. 17. Температурный режим стеновых ограждающих конструкций 12-квартирного жилого здания из деревянных панелей в г. Якутске. Январь 1975 г.: а — наружная стена западной ориентации углового помещения первого этажа; б — то же второго этажа

ложенными с внутренней стороны (рис. 17, б), и минераловатными плитами ($\gamma = 150 \text{ кг/м}^3$) толщиной 80 мм, уложенными с наружной стороны панелей. Каркас, обшивки и отделка панелей второго этажа такие же, как и на первом этаже.

Теплозащитные свойства ограждающих конструкций в условиях эксплуатации оказались несколько выше (на 14—42%) расчетных значений (табл. 8), что объясняется более низкими коэффициентами теплопроводности утеплителей в реальных условиях.

Высокие теплозащитные свойства конструкций обусловлены тем, что их утеплители находятся в удовлетворительном влажностном состоянии. Анализ влажностного состояния ограждений проводился трижды: в сентябре 1974 г., перед сдачей дома в эксплуатацию; в мае 1975 г., после зимнего периода влагонакопления; в сентябре 1975 г., после летнего высушивания.

Осенью 1974 г. наблюдалась повышенная влажность внутренней древесной обшивки, что вызвано оштукатуриванием ее поверхности (мокрый процесс отделки). Влажность утеплителей в обеих конструкциях находилась в пределах нормы: у древесноволокнистых плит — от 7,5 до 9,6% (по нормам 10%), у минераловатных плит — от 0,6 до 0,9% (по нормам 4,0%) (рис. 18).

После зимнего периода влагонакопления произошло перераспределение влажности утеплителя в конструкции первого этажа. Влажность слоев ДВП, расположенных с внутренней стороны, снизилась до 7,2%, а наружных повысилась до 12,9%. В панели второго этажа такого повышения влажности ДВП не наблюдалось. Влажность внутренних древесных обшивок в обеих конструкциях снизилась до 6,4—6,9%.

В сентябре 1975 г., после летнего просыхания конструкций, влажность всех материалов ограждений заметно понизилась: древесноволокнистых плит — до 3,7—5,5%, минераловатных плит — до 0,2—0,3%, древесных обшивок — до 5,5—7,9% (рис. 18). Таким образом, можно отметить, что влажностный режим ограждений после года эксплуатации в условиях Цент-

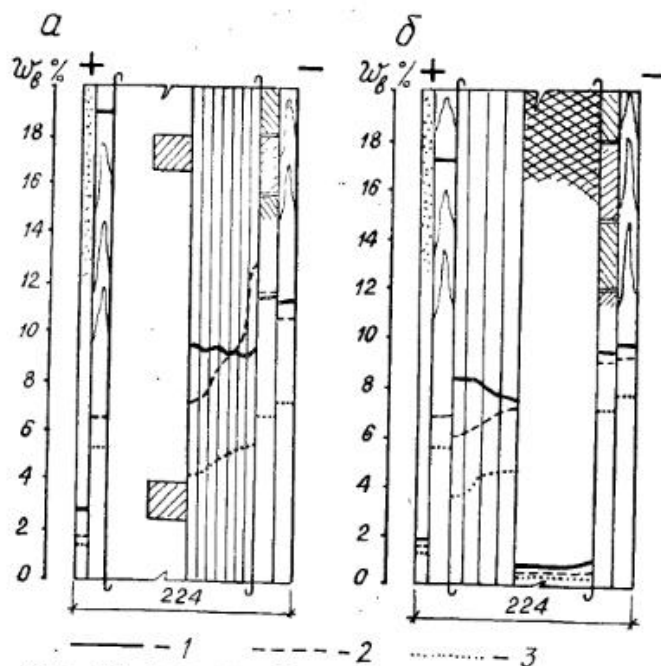


Рис. 18. Влажностный режим стеновых ограждающих конструкций 12-квартирного жилого здания из деревянных панелей в г. Якутске:

а — наружная стена западной ориентации углового помещения первого этажа; б — то же второго этажа. Пробы взяты 18 сентября 1974 г. (1); 7 мая 1975 г. (2), 23 сентября 1975 г. (3)

ральной Якутии улучшился и стал полностью соответствовать требованиям СНиП.

Наблюдения за температурой воздуха в помещениях здания показали, что как на первом, так и на втором этажах отмечался перегрев. Это связано с избыточным теплоступлением от отопительных приборов. Температура воздуха в средней по высоте зоне помещений первого этажа находилась в пределах 26—28°C, второго 25—27°C. Такое повышение температуры неблагоприятно сказывается на самочувствии людей. Отопительные приборы не были оборудованы регулировочной арматурой, а проветривание помещений через форточки в оконных проемах не давало желаемых результатов.

Распределение температуры воздуха по вертикали в опытном помещении неравномерное (рис. 19). У поверхности пола она достаточно высокая 17—19°C, но ее перепад на уровне 150 см от пола достигает 10—15°C, что значительно выше нормы. Наибольшее понижение температуры воздуха у пола (до 11,2°C) зафиксировано у входной двери; следовательно, герметизация наружных входных дверей квартиры недостаточна.

Относительная влажность внутреннего воздуха в период

Таблица 8

Сопротивление теплопередаче стеновых панелей 12-квартирного жилого дома

Конструкция	Экспериментальные данные				R_0^{Φ} $R_{расч}$ · 100%	R_0^{Φ} R_0^{TP} · 100%
	Средняя температура внутреннего воздуха $t_{в.ср.}, ^\circ C$	Средняя температура наружного воздуха $t_{н.ср.}, ^\circ C$	Удельный тепловой поток $q, \frac{ккал}{м^2 \cdot ч}$	Фактическое сопротивление теплопередаче $R_0^{\Phi}, \frac{м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C}{ккал}$		
Стеновая панель первого этажа	27,2	-45,6	28,7	2,53	142	122
Стеновая панель второго этажа	26,2	-45,6	18,8	3,82	114	187

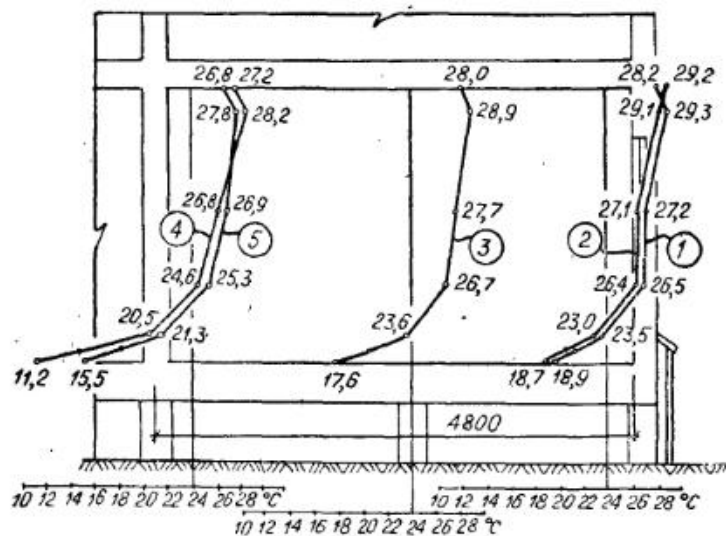


Рис. 19. Распределение температуры внутреннего воздуха по вертикали в угловой комнате первого этажа 12-квартирного жилого здания из деревянных панелей в г. Якутске. Январь 1975 г., $t_{н.ср} = -46^{\circ}\text{C}$. (Цифры в кружках — места замеров температуры воздуха, показанные на плане — рис. 16)

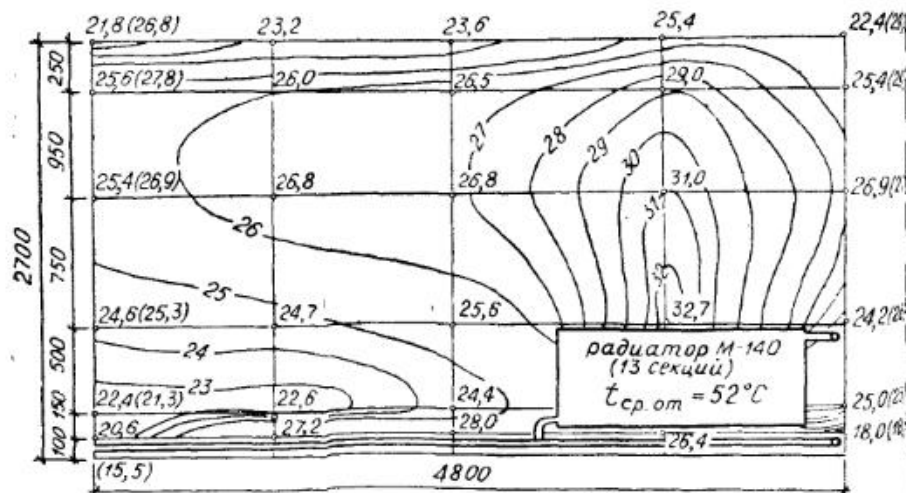


Рис. 20. Распределение температуры на внутренней поверхности наружной стены западной ориентации в угловой комнате первого этажа 12-квартирного жилого здания из деревянных панелей в г. Якутске. Январь 1975 г., $t_{н.ср} = -46^{\circ}\text{C}$. (Цифры в скобках — температура воздуха в соответствующих точках на расстоянии 10 см от поверхности стены)

наблюдений ниже оптимальной: в помещениях первого этажа 15—30%, второго 20—30%.

Температура внутренней поверхности наружной стены в опытной комнате достаточно высокая (рис. 20): на участках вблизи отопительного прибора 27—32°C, на более удаленных участках 24—26°C. Температурный перепад «воздух — ограждение» не превышал 3,0—3,5°C, что также указывает на хорошие теплозащитные качества стеновых конструкций. Заметного понижения температуры в зонах стыковых панелей и углов не отмечено.

По результатам наблюдений на 12-квартирном жилом здании из деревянных панелей в г. Якутске можно сделать следующие выводы.

Стеновые ограждающие конструкции обладают высокими теплозащитными свойствами. Лучшей по теплозащитной способности является конструкция с утеплителем из минераловатных и древесноволокнистых плит, примененная на втором этаже здания.

Влажностный режим ограждений после первого года эксплуатации улучшился и стал соответствовать требованиям норм.

Температурный режим ограждений в наиболее холодный зимний период близок к стационарному.

Температура полов первого этажа на удовлетворительном уровне 17—19°C, однако достигнуто это чрезмерным повышением температуры в помещении. Перепад температуры по вертикали в 5—7 раз выше нормативного.

Относительная влажность воздуха в помещениях ниже оптимальной.

Экспериментальный восьмиквартирный жилой дом из клефанерных панелей в пос. Табага ЯАССР

Экспериментальное жилое здание из клефанерных панелей в пос. Табага Якутской АССР построено в декабре 1974 г. комбинатом «Якутлес» по проекту серии 139, разработанному ЦНИИЭПграждансельстроем для районов Крайнего Севера [80]. Это первый дом данной серии, построенный на территории ЯАССР. Здание (рис. 21) двухэтажное, имеет на каждом этаже по 4 квартиры и просторный холл. Квартиры двух- и трехкомнатные с хорошими архитектурно-планировочными показателями. Двухкомнатные квартиры имеют 29,0 и 30,4 м² жилой и 56,2 м² полезной площади, а трехкомнатные — 38,8 и 41,7 м² жилой и 68,5 и 72,7 м² полезной площади. Во всех квартирах сушильные шкафы, кладовые, просторные коридоры и полное инженерное благоустройство. Отопление здания водяное, радиаторами М-140 АО.

Здание смонтировано из панелей размером «на комнату».

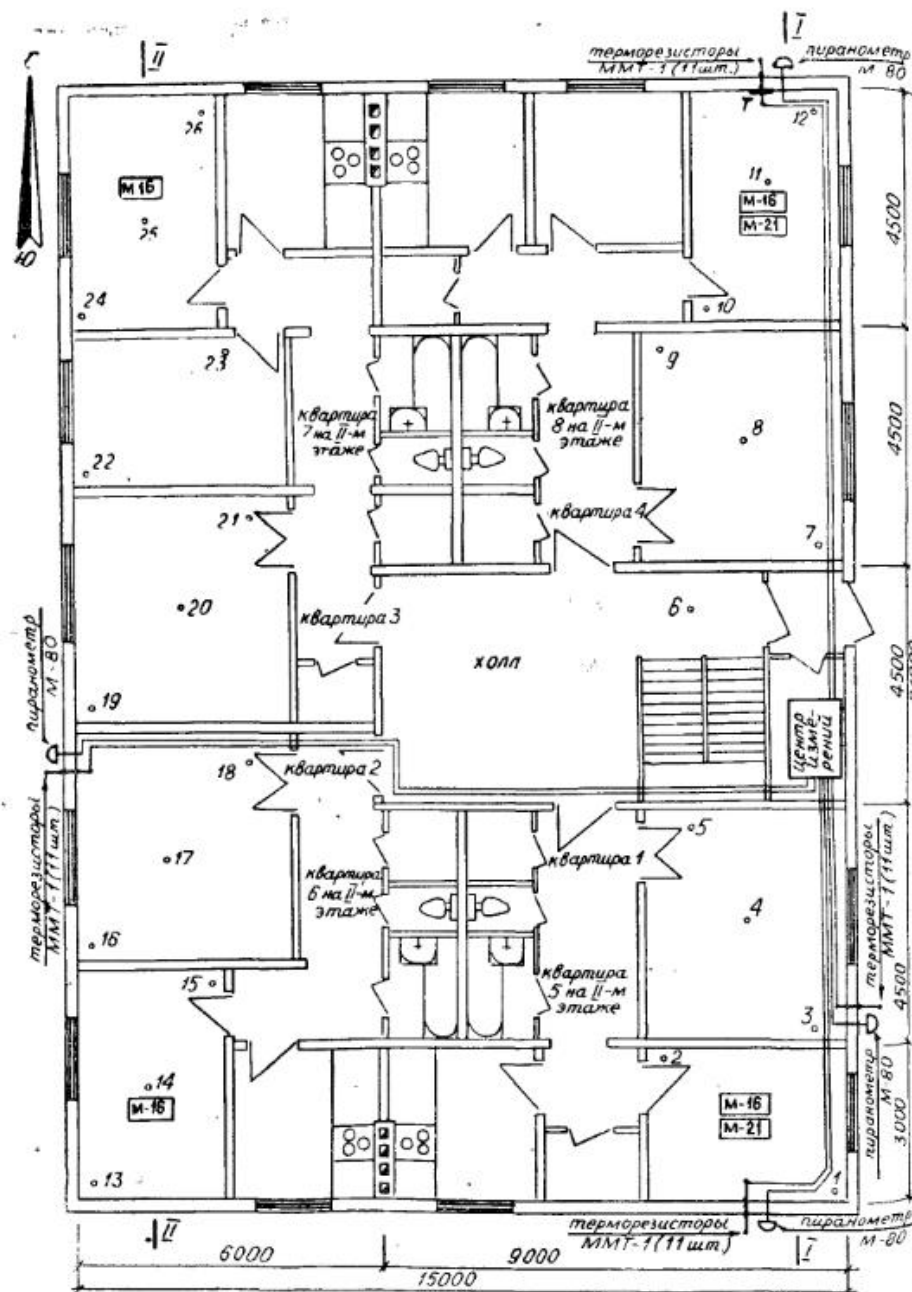


Рис. 21. План первого этажа экспериментального 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей в пос. Табага

Основой панелей служит деревянный каркас из досок сечением 150×50 мм (стеновые панели) и 200×50 мм (панели чердачного и цокольного перекрытий). Наружная обшивка стеновых панелей выполнена из водостойкой фанеры ФСФ ($\delta = 8$ мм), внутренняя — из строительной фанеры ФК ($\delta = 8$ мм). В качестве утеплителя использовались полужесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем ($\gamma = 100$ кг/м³). Толщина утеплителя в стеновых панелях принята 144 мм. После монтажа панелей здание с наружной стороны было обшито строганой доской ($\delta = 19$ мм). Общая толщина наружных стеновых ограждений 180 мм. Стены здания ориентированы на север, юг, восток и запад (рис. 21).

Панели чердачного перекрытия имеют внутреннюю обшивку из строительной фанеры ФК ($\delta = 8$ мм), наружную — из обрезной доски ($\delta = 20$ мм). Толщина минераловатного утеплителя в панелях чердачного перекрытия 194 мм.

Конструкция цокольного перекрытия выполнена следующим образом: по деревянным рандбалкам укладываются цокольные панели с минераловатным утеплителем ($\delta = 194$ мм) и обшивками из обрезных досок ($\delta = 20$ мм). Стыки панелей тщательно заделываются строительным войлоком. Затем, после монтажа здания, приступают к устройству чистого пола. По цокольным панелям раскладываются лаги сечением 80×100 мм с шагом 600 мм. В промежутки между лагами укладывается дополнительный слой теплоизоляции из минераловатных плит ($\delta = 100$ мм). По лагам настилается чистый пол из досок ($\delta = 29$ мм), который сверху покрывается слоем твердой древесноволокнистой плиты ($\delta = 4$ мм). Таким образом, общая толщина конструкции цокольного перекрытия 368 мм.

Расчетные теплотехнические характеристики ограждающих конструкций здания приведены в табл. 9.

Таблица 9
Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей

Конструкция	Масса 1 м ² конструкций	Сопротивление теплопередаче, м ² · К / Ккал		$\frac{R_o^{расч}}{R_o^{тр}} \cdot 100\%$	Тепловая инерция D
		требуемое $R_o^{тр}$	расчетное $R_o^{расч}$		
Наружная стена	35,6	2,08	4,05	195	2,66
Чердачное перекрытие	35,8	2,60	5,18	199	3,00
Цокольное перекрытие	72	5,10	7,86	154	5,21

Примечание. $R_o^{тр}$ наружной стены увеличено на 20%.

Из табл. 9 видно, что расчетное сопротивление теплопередаче ограждений в 1,5—2,0 раза превышает требуемое по нормам.

Целью проводимых на данном объекте натуральных теплофизических исследований являлось изучение температурного режима ограждающих конструкций и микроклимата помещений здания в течение полного годового периода. Натурные исследования велись систематически с января 1975 г. по июль 1976 г. Для получения полной картины затухания суточных температурных волн в ограждающих конструкциях наблюдения проводились циклами продолжительностью до 2—3 суток каждый с интервалами между ними в 6—8 дней.

Датчики температуры (терморезисторы ММТ-1) были установлены в стеновых конструкциях каждой ориентации, а также в конструкциях цокольного и чердачного перекрытий. Измерялась температура в дневное время через каждый час, в ночное — через два часа. Одновременно фиксировалась суммарная солнечная радиация, поступающая на стены четырех ориентаций (С, В, Ю, З) и на горизонтальную поверхность.

Результаты наблюдения за интенсивностью солнечной радиации представлены на рис. 22. Из приведенных данных видно, что в наиболее холодные зимние месяцы (декабрь, январь) солнечная радиация очень мала. Даже наиболее облученная стена южной ориентации получает не более 240 ккал/(м²·ч). Весной интенсивность и продолжительность солнечного облучения стен резко возрастает. Максимальное количество солнечной энергии поступает на стену южной ориентации в марте — в полдень до 820 ккал/(м²·ч). Обусловлено это тем, что солнце в этот период поднимается еще сравнительно невысоко и угол между солнечными лучами и плоскостью южной стены приближается к прямому. Кроме того, весной повышается прозрачность атмосферы, что связано с низким влагосодержанием и малой запыленностью воздуха [180, 181]. Существенную долю отраженной радиации получает стена южной ориентации и от яркого снежного покрова, имеющего высокое альbedo. Летом интенсивность солнечной радиации, поступающей на южную стену, несколько снижается — в июне в полдень 610 ккал/(м²·ч). В осенние месяцы (сентябрь, октябрь) наблюдается второй максимум интенсивности солнечной радиации, поступающей на эту стену, — до 720 ккал/(м²·ч), однако и это значение меньше, чем в весенний период.

Стены восточной и западной ориентаций зимой получают мало солнечной энергии, так как в этот период они не облучаются солнечными лучами. Весной интенсивность радиации, поступающей на эти стены, быстро возрастает, однако уровень ее значительно ниже, чем на южной стене. Максимальная интенсивность — до 650—660 ккал/(м²·ч) — наблюдается в летние месяцы, причем летом стены восточной и западной ориентации получают уже несколько больше солнечной энергии, чем южная

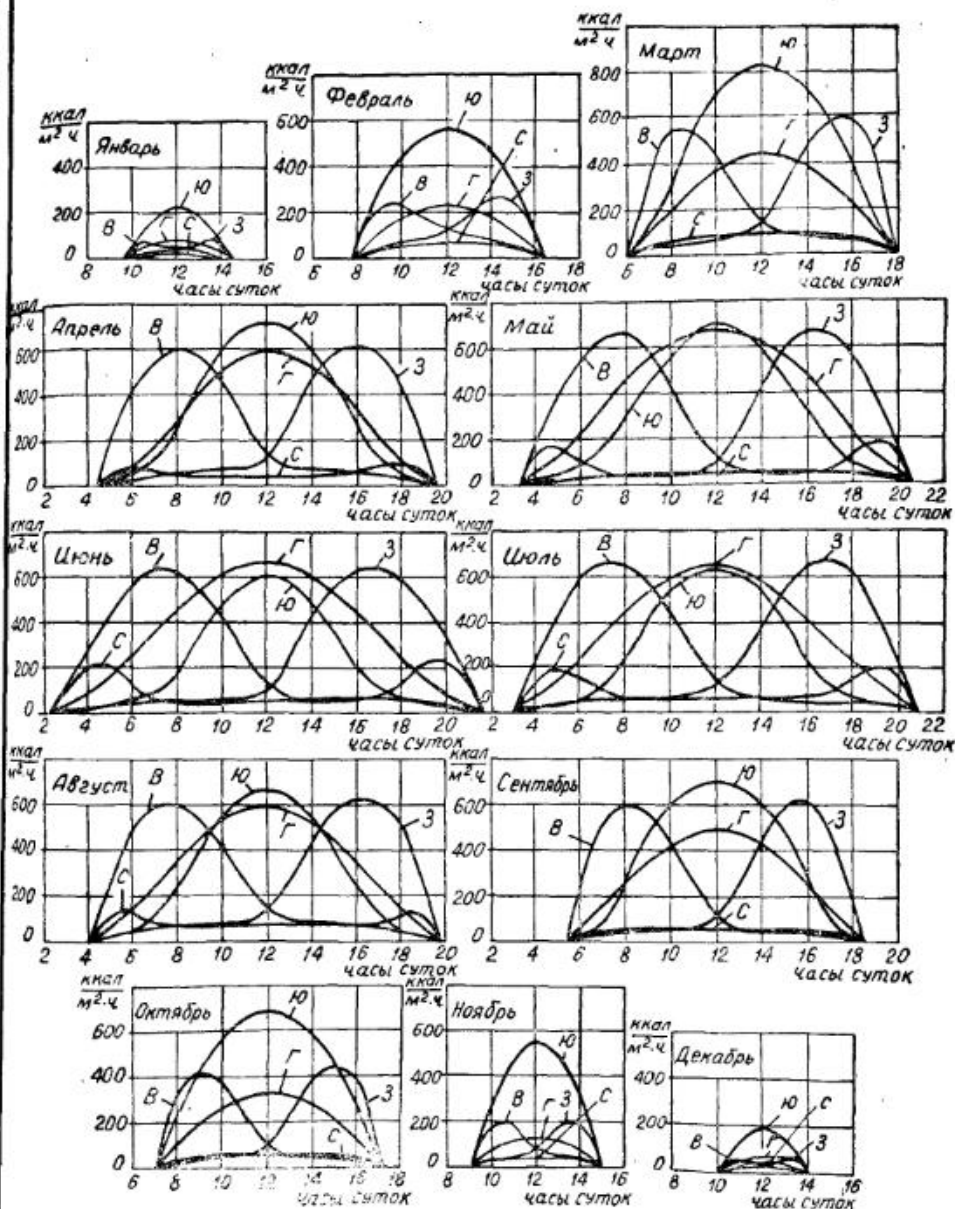
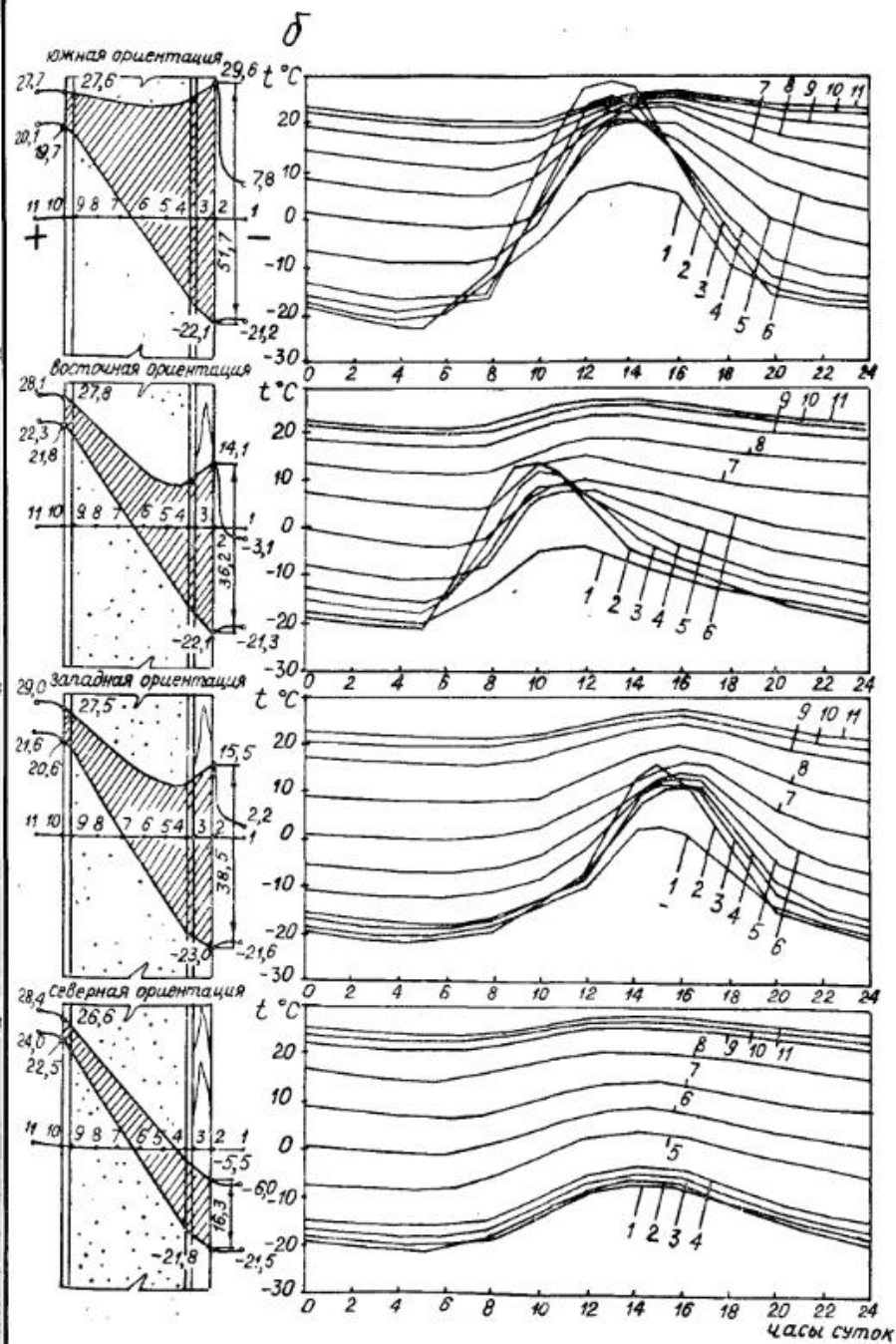
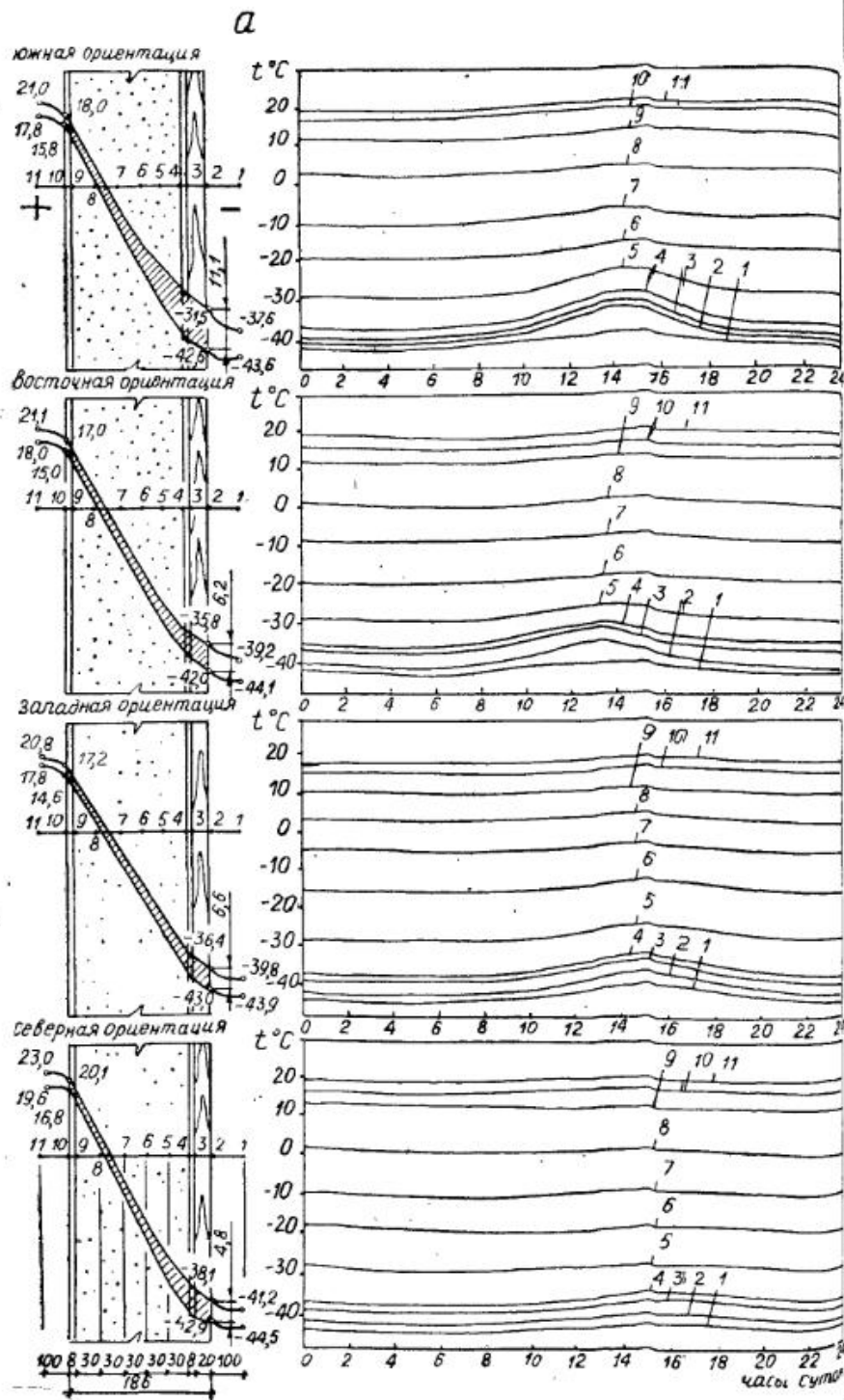


Рис. 22. Интенсивность суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности различной ориентации при ясном небе. Пос. Табага (62° с. ш.). Данные натуральных наблюдений:
В—вертикальная поверхность восточной ориентации; З—то же западной; Ю—то же южной; С—то же северной; Г—горизонтальная поверхность



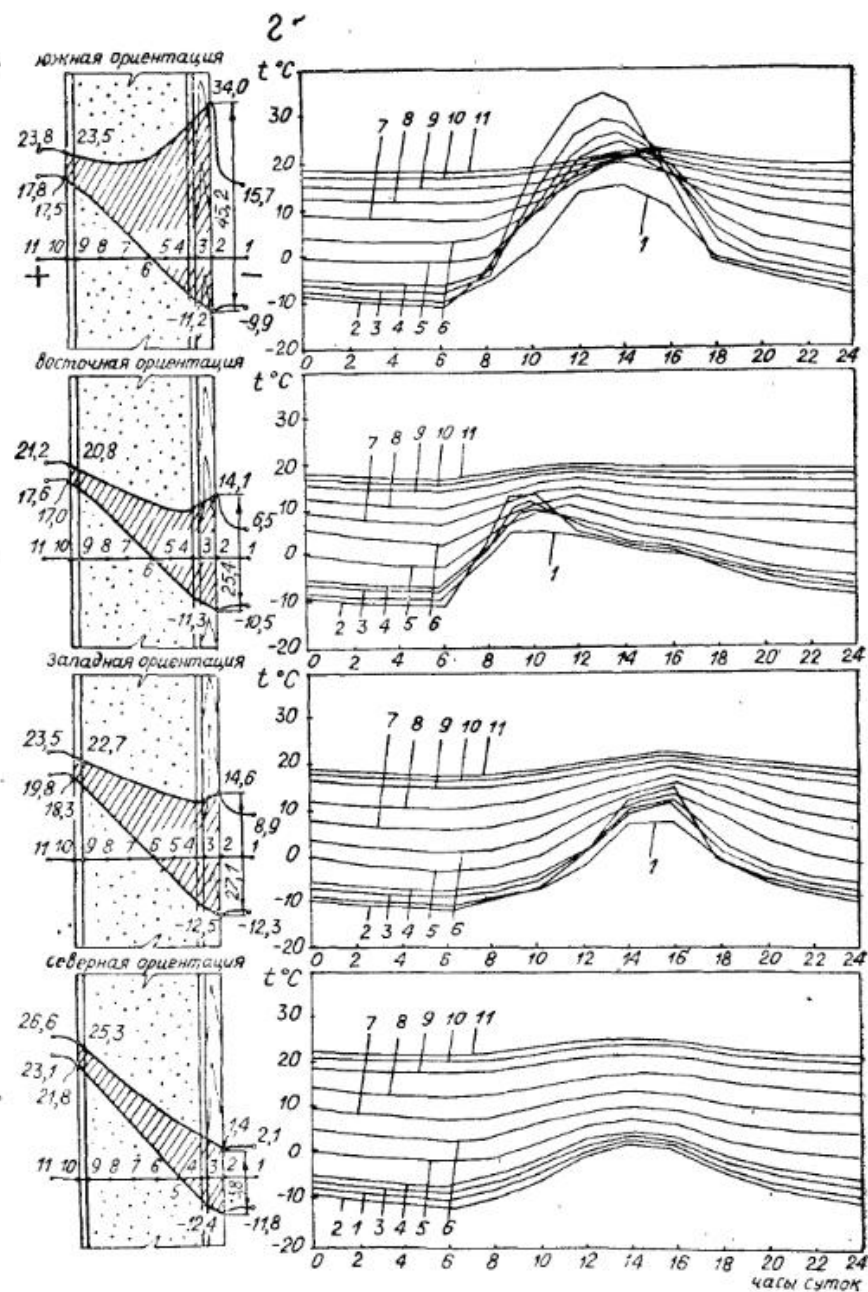
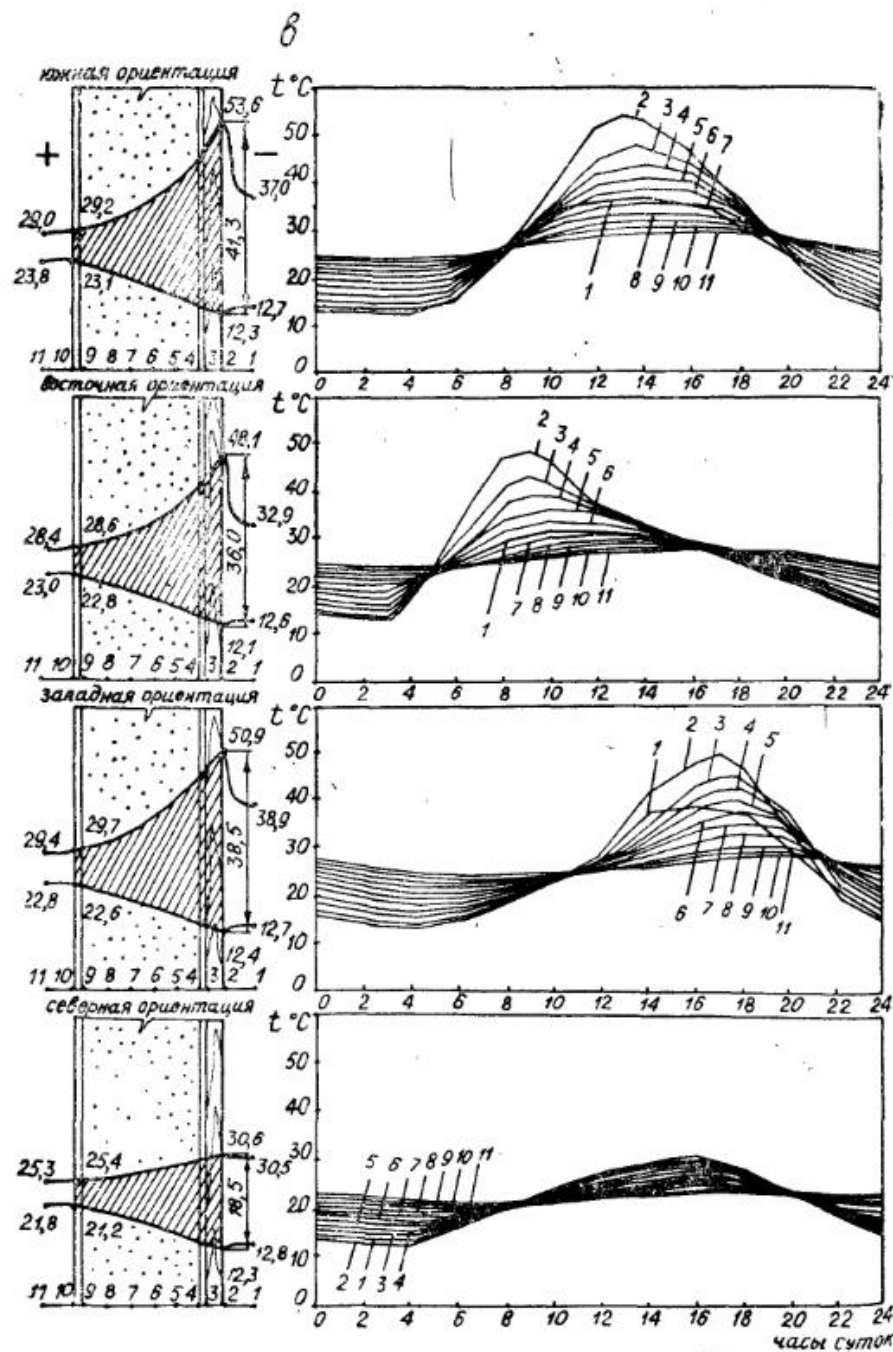


Рис. 23. Температурный режим стеновых ограждающих конструкций экспериментального 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей в пос. Табага. По данным наблюдений в 1975 г.: 27—31 января (а), 19—20 марта (б), 27—28 июля (в), 8—9 октября (г)

стена. Осенью отмечается быстрое уменьшение радиации, поступающей на эти стены.

На стене северной ориентации во все времена года зафиксировано значительно меньше солнечного тепла, чем на стенах других ориентаций. Большую часть года (с сентября по март) она вообще не облучается солнцем, а воспринимает лишь рассеянную и отраженную радиацию, сумма которых невелика — 60—80 ккал/(м²·ч). Летом северная стена облучается только в ранние утренние (примерно с 3 до 6) и вечерние (с 18 до 21) часы, однако солнце в это время находится низко над горизонтом и потому интенсивность суммарной солнечной радиации незначительна — ~220 ккал/(м²·ч).

Изменение интенсивности суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, по временам года происходит так же, как у восточной и западной стен, т. е. наблюдается быстрый рост ее весной, наибольшее значение летом и резкое падение осенью. Летом горизонтальная поверхность облучается солнцем дольше, чем любая из стеновых поверхностей, и в сумме за сутки получает большее количество солнечного тепла.

Таким образом, солнечная радиация в Центральной Якутии весьма значительна, особенно в весенне-осенний и летний периоды, и обязательно должна быть учтена в теплотехнических расчетах ограждений.

Результаты наблюдений за температурным режимом стеновых ограждающих конструкций различной ориентации в наиболее характерные периоды года представлены на рис. 23. Из графиков видно, что в самый холодный зимний период (декабрь, январь), который отличается низкой температурой наружного воздуха, незначительной амплитудой ее суточных колебаний, слабой интенсивностью солнечной радиации и малыми скоростями ветра, температурный режим стеновых ограждающих конструкций практически не зависит от их ориентации и является близким к стационарному. Суточные температурные колебания в ограждающих конструкциях в этот период незначительны — в январе (рис. 23, а) на наружной поверхности стен от 4,7 (северная ориентация) до 11,1°C (южная ориентация).

Совершенно иной температурный режим стеновых ограждений весной. Этот период в районах Центральной Якутии отличается наибольшими амплитудами суточных колебаний температуры наружного воздуха [7, 180]. Резко возрастает интенсивность солнечной радиации, однако стены различных ориентаций, как отмечено выше, получают разное количество солнечной энергии. Особенности радиационного режима весной обуславливают и различие в температурном режиме стен разных ориентаций. Наиболее интенсивные волны наблюдаются в стене южной ориентации. Так, в марте суточные колебания на ее наружной поверхности достигают 51,7°C, что является максималь-

ной за год величиной для всех исследованных ограждений. На наружных поверхностях стен восточной и западной ориентаций колебания температуры в марте соответственно составляют 36,2 и 38,5°C, стены северной ориентации — только 16,3°C (рис. 23, б). Суточные температурные волны, проникая через легкие ограждения, вызывают колебания температуры на их внутренней поверхности, выходящие за пределы санитарно-гигиенических норм (до 6—8°C по сравнению с 3°C по нормам). Это приводит к повышенным колебаниям температуры воздуха в помещениях, что не отвечает нормативным требованиям [177].

В летние месяцы температурный режим стеновых ограждающих конструкций носит ярко выраженный нестационарный характер (рис. 23, в). Под воздействием высоких температур наружного воздуха, достигающих 32—34°C, и интенсивной солнечной радиации температура на наружных поверхностях стен восточной, южной и западной ориентаций в часы максимального облучения повышается до 52—54°C. Суточные колебания температуры на наружных поверхностях этих стен составляют 36—42°C. Температурные волны, проникая через ограждения, вызывают колебания температуры на их внутренней поверхности до 6—7°C, что выходит за пределы санитарно-гигиенических норм. В часы наибольшего прогрева температура внутренних поверхностей этих ограждений повышается до 28—30°C и отмечается перегрев помещений. Стена северной ориентации, получающая значительно меньше солнечной энергии, испытывает более низкие колебания температуры.

В осенний период (сентябрь — ноябрь) температурный режим стеновых конструкций аналогичен весеннему и отличается от него лишь несколько меньшей амплитудой суточных колебаний температуры (рис. 23, г).

Таким образом, натурные наблюдения показали, что в условиях резко континентального климата Центральной Якутии во все периоды года, за исключением наиболее холодного зимнего, температурный режим легких стеновых ограждающих конструкций отличается интенсивными по амплитуде суточными температурными колебаниями и поэтому вопросы обеспечения их теплоустойчивости имеют важнейшее значение.

В соответствии с рекомендациями [142, 174], экспериментальные данные натурных наблюдений при изучении теплоустойчивости ограждений обрабатываются по следующей методике. Фактические графики суточных колебаний температур разлагаются в гармонический ряд Фурье и выделяется суточная гармоника. Затем определяется амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения $A_{\tau_{в}}^{\text{экс}}(t_{н.усл})$ от колебания условной температуры наружного воздуха с учетом «обратной волны», то есть из полной амплитуды, возникающей под влиянием как внешних, так и внутренних тепловых волн,

Летний температурный режим угловых помещений
экспериментального 8-квартирного жилого здания
из клефанерных панелей. Июль 1975 г.

Квартира	Этаж	Ориентация	Температура воздуха, °С		
			среднесуточ- ная	минимальная	максимальная
1	Первый	Ю-В	26,3	23,8	29,0
2	»	Ю-З	26,8	23,9	29,4
3	»	С-З	25,8	23,1	27,8
4	»	С-В	25,6	22,8	27,5
5	Второй	Ю-В	27,3	24,0	29,6
6	»	Ю-З	27,7	24,3	30,5
7	»	С-З	27,3	23,8	29,4
8	»	С-В	26,8	23,0	28,3

исключается амплитуда от колебаний температуры воздуха в помещении. После чего определяется экспериментальное значение затухания — $\gamma_{\text{эксп}}$. Разложение в гармонический ряд Фурье фактических температурных графиков, полученных в период летних наблюдений, осуществлено на ЭВМ М-220М. Расчет $A_{\tau_b}^{\text{эксп}}(t_{n,\text{усл}})$ с учетом «обратной волны» проведен по формулам, рекомендованным ОСТ 20-2-74 [174]. В табл. 10 представлены данные по теплоустойчивости стеновых конструкций исследованного здания. Экспериментальные значения затухания $\gamma_{\text{эксп}}$ находятся в пределах $26 \div 33$, а среднее $\gamma_{\text{ср}}^{\text{эксп}}$ составляет 28,6. Расчеты по формуле А. М. Шкловера [89] при $\alpha_b = 7,5$ и $\alpha_n = 20$ ккал/(м²·ч·°С) дают значение $\gamma_{\text{расч}} = 36,2$, что на 26% выше среднего экспериментального. Расхождение обусловлено в основном завышенным значением α_b , принимаемым в расчетах. Наилучшая сходимость экспериментальных и расчетных значений достигается при $\alpha_b = 5,8 \div 6,2$ ккал/(м²·ч·°С).

Летний тепловой режим помещений формируется в зависимости от теплоступлений как через наружные ограждающие конструкции, так и через световые проемы. Представленные данные по затуханию тепловых волн в ограждениях показыва-

Таблица 10

Затухание амплитуды температурных колебаний
в стеновых ограждающих конструкциях
экспериментального 8-квартирного жилого здания
из клефанерных панелей
(По данным наблюдений 27.VII—8.VIII.1975 г.)

Ориентация стены	Суточная гармоника	$A_{\tau_b}^{\text{эксп}}$ °С	$A_{\tau_b}^{\text{эксп}}(t_{n,\text{усл}})$ °С	$\gamma_{\text{эксп}}$
В	$t_{n,\text{усл}}(z) = 28,25 + 12,23 \cos(0,26z - 2,98)$ $\tau_b(z) = 24,10 + 2,10 \cos(0,26z - 4,37)$ $t_b(z) = 24,48 + 2,05 \cos(0,26z - 4,35)$	12,23	0,43	28,4
Ю	$t_{n,\text{усл}}(z) = 30,65 + 19,5 \cos(0,26z - 3,48)$ $\tau_b(z) = 25,45 + 1,99 \cos(0,26z - 4,65)$ $t_b(z) = 25,34 + 1,58 \cos(0,26z - 4,72)$	19,5	0,74	26,3
З	$t_{n,\text{усл}}(z) = 28,12 + 18,79 \cos(0,26z - 4,11)$ $\tau_b(z) = 26,77 + 1,17 \cos(0,26z - 5,14)$ $t_b(z) = 26,93 + 1,79 \cos(0,26z - 5,19)$	18,79	0,71	26,2
С	$t_{n,\text{усл}}(z) = 23,74 + 8,06 \cos(0,26z - 3,84)$ $\tau_b(z) = 26,0 + 1,55 \cos(0,26z - 3,75)$ $t_b(z) = 25,86 + 1,71 \cos(0,26z - 3,63)$	8,06	0,24	33,6

ют, что теплоустойчивость стеновых конструкций, определенная с учетом «обратной волны», достаточно высока, однако помещения здания в летний период испытывают существенный перегрев. Наибольший перегрев отмечен в помещениях второго этажа, ориентированных на юго-восток, юг и юго-запад. Сказывается влияние чердачного перекрытия, испытывающего перегрев от воздействия интенсивной солнечной радиации. В жаркие летние дни среднесуточная температура в этих помещениях составляла 27—28°С, а максимальная доходила до 30—31°С (табл. 11). В помещениях первого этажа той же ориентации температура воздуха в среднем на 1—1,5°С ниже. В помещениях северо-восточной и северо-западной ориентации среднесуточная температура 25—27°С, а максимальная 27,5—29,4°С, т. е. и здесь имеет место перегрев, только несколько меньший, чем в помещениях южного сектора горизонта. В помещениях первого этажа также примерно на 1,5°С прохладнее, чем в помещениях той же ориентации второго этажа (табл. 11).

Как видно из приведенных данных, летом в помещениях зданий с легкими ограждающими конструкциями, эксплуатируемых в районах Центральной Якутии, наблюдается значительное повышение температуры, что отрицательно сказывается на самочувствии проживающих в них людей. Поэтому важно предусматривать защиту легких зданий от летнего перегрева.

Наряду с изучением температурного режима стен различных ориентаций в течение полного годового периода на экспериментальном здании исследовались и теплозащитные качества ограждающих конструкций в наиболее холодное время года. Наблюдения за тепловыми потоками и определение теплозащитных свойств ограждающих конструкций здания осуществля-

Таблица 12

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций
экспериментального 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей

Конструкция	Экспериментальные данные				R_o^{Φ} $R_o^{\text{расч}}$ ·100%	R_o^{Φ} $R_o^{\text{тр}}$ ·100%
	Средняя температура внутреннего воздуха $t_{в.ср.}, ^\circ\text{C}$	Средняя температура наружного воздуха $t_{н.ср.}, ^\circ\text{C}$	Средний удельный тепловой поток $q, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	Фактическое сопротивление теплопередаче $R_o^{\Phi}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{ккал}}$		

По данным наблюдений 27—31.I.1975 г.

Наружная стена	21,3	-43,8	14,9	4,37	108	210
Чердачное перекрытие	12,6	-34,0	9,9	4,70	91	180
Цокольное перекрытие	16,4	-42,2	10,6	5,52	70	108

По данным наблюдений 19—21.I.1976 г.

Наружная стена	24,3	-46,0	15,1	4,65	115	224
Чердачное перекрытие	10,2	-38,4	9,2	5,26	102	202
Цокольное перекрытие	16,2	-46,5	10,3	6,12	78	120

лись дважды: в январе 1975 г. и в январе 1976 г. Испытывались: стена северной ориентации, чердачное и цокольное перекрытия. Результаты представлены в табл. 12.

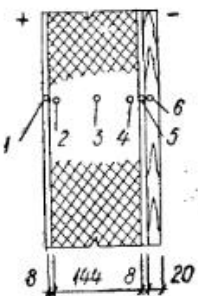
Фактическое сопротивление теплопередаче стеновой конструкции оказалось выше проектной величины в первую зиму на 8%, во вторую — на 15% и более чем в 2 раза выше требуемого значения.

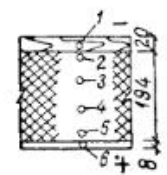
В первую зиму эксплуатации фактическое сопротивление теплопередаче конструкции чердачного перекрытия оказалось на 9% ниже расчетного значения, что объясняется повышенной влажностью материалов конструкции в этот период (табл. 13). Увлажнение конструкции чердачного перекрытия произошло от дождей осенью 1974 г. до устройства кровельного покрытия здания. После года эксплуатации конструкция чердачного перекрытия почти полностью просохла и это привело к повышению ее сопротивления теплопередаче, которое стало соответствовать расчетному значению и в 2,0 раза превысило требуемое (табл. 12).

Фактическое сопротивление теплопередаче конструкции цокольного перекрытия в первую зиму эксплуатации было на 8% выше требуемого, но на 30% ниже расчетного. Во вторую зиму ее сопротивление теплопередаче увеличилось на 11%, но не дос-

Таблица 13

Влажностный режим ограждающих конструкций
экспериментального 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей

Места отбора проб	Конструкция	Материал слоя	Влажность (по массе), %			
			27.XI 1974 г.	4.V 1975 г.	15.IX 1975 г.	27.V 1976 г.
1	2	3	4	5	6	7
	Стена южной ориентации	1—фанера ФК	7,2	7,1	6,5	6,4
		2—минеральная вата	0,4	0,9	0,5	0,7
		3—то же	0,6	1,0	0,7	0,7
		4—« «	0,9	1,1	0,9	0,9
	Стена восточной ориентации	5—фанера ФСФ	17,2	9,2	8,2	6,5
		6—древесина	16,7	10,0	6,9	6,8
		1—фанера ФК	7,4	7,2	6,7	6,5
		2—минеральная вата	0,5	0,4	0,5	0,5
	Стена западной ориентации	3—то же	0,8	0,8	0,6	0,7
		4—« «	1,2	1,4	0,9	0,8
		5—фанера ФСФ	26,7	10,5	5,8	7,3
		6—древесина	50,5	10,9	5,9	7,8
1—фанера ФК		7,6	7,3	6,9	6,6	
2—минеральная вата		0,7	0,7	0,6	0,8	
Стена северной ориентации	3—то же	0,8	0,9	0,7	0,9	
	4—то же	1,8	1,9	0,7	1,1	
	5—фанера ФСФ	19,6	9,7	8,2	6,9	
	6—древесина	13,4	10,5	8,6	7,2	
	1—фанера ФК	6,8	6,7	6,5	6,5	
	2—минеральная вата	0,4	0,6	0,5	0,5	
Чердачное перекрытие	3—то же	0,6	0,8	0,6	0,5	
	4—« «	0,6	0,9	0,7	0,7	
	5—фанера ФСФ	39,5	11,4	8,9	8,7	
	6—древесина	18,7	11,8	8,3	9,0	
	Цокольное перекрытие	1—древесина	22,3	30,6	16,8	16,0
		2—минеральная вата	4,6	8,6	1,4	1,4
3—то же		1,9	2,5	1,2	1,2	
4—« «		1,7	2,0	1,0	1,1	
5—« «		2,4	1,9	0,9	0,7	
6—фанера ФК		9,2	10,5	8,4	7,6	



1	2	3	4	5	6	7
	рекры- тие	ная вата	0,7	—	—	—
	3—то же		1,0	—	—	—
	4—древесина		20,0	—	—	—
	5—минераль- ная вата		0,4	—	—	—
	6—то же		0,5	—	—	—
	7— « «		0,5	—	—	—
	8— « «		0,7	—	—	—
	9—древесина		16,5	—	—	—

тигло проектного значения. Сказалась повышенная влажность древесных материалов, просыхание которых в конструкции цокольного перекрытия происходит медленнее, чем в других ограждениях. В целом можно отметить, что после года эксплуатации теплозащитные свойства ограждающих конструкций здания возросли в среднем на 10%.

При первоначальном анализе в стеновых ограждающих конструкциях отмечена повышенная влажность фанеры ФСФ (до 40%) и наружных древесных обшивок (до 50%). Влажность минераловатных плит в стеновых панелях находилась в пределах нормы: 0,4—1,8%, при этом наблюдалось ее некоторое повышение от внутренней обшивки к наружной (табл. 13). Наибольшая влажность утеплителя наблюдалась в конструкции чердачного перекрытия — до 4,6%. Как уже отмечалось, увлажнение конструкции чердачного перекрытия было допущено в период монтажа здания. Верхняя дощатая обшивка этой конструкции также имела повышенную влажность — 22,3%. Влажность утеплителя в конструкции цокольного перекрытия была незначительной 0,4—1,0%, а древесных обшивок — повышенной: до 16,5—20,0%. При вскрытии ограждающих конструкций был замечен тонкий слой (0,5—1 мм) инея на внутренних поверхностях фанеры ФСФ и дощатой обшивки чердачного перекрытия.

После зимы первого года эксплуатации в стеновых ограждениях отмечено незначительное увлажнение утеплителя, в среднем на 0,2—0,4%, влажность же фанеры ФСФ и наружных дощатых обшивок снизилась значительно и стала близкой к норме. В конструкции чердачного перекрытия произошло увлажнение верхних слоев утеплителя (до 8,6%) и древесной обшивки (до 30,6%). Наблюдалось образование обильного слоя инея (до 3—5 мм) на ее внутренней поверхности. Проследить изменение влажностного состояния конструкции цокольного перекрытия не удалось, так как после заселения квартир вскрыть конструкцию пола не было возможности.

После лета 1975 г. влажность всех слоев ограждений снизилась и конструкции находятся во влажностном состоянии, соответствующем требованиям СНиП.

В течение второй зимы эксплуатации здания заметного повышения влажности материалов не произошло.

Таким образом, на основании проведенных наблюдений можно заключить, что после 1,5 лет эксплуатации здания влажностное состояние его ограждающих конструкций полностью нормализовалось.

Зимний микроклимат помещений здания изучался в январе 1975 г. Особый интерес представляли данные о температурном режиме полов первого этажа и распределение ее по объему помещений. Были обследованы все квартиры на первом и втором этажах. Характер распределения температуры внутреннего воздуха по объему помещений экспериментального здания показан на рис. 24.

Из представленных данных видно, что температура пола в помещениях первого этажа достаточно высокая — от 16 до 23°C, а температурный перепад по вертикали (между отметкой 150 см от пола и его поверхностью) в жилых помещениях составляет 3—5°C. Повышенный температурный перепад по вертикали (до 12°C) отмечен лишь в холле, что вызвано недостаточной герметизацией входных дверей тамбура. В целом температурный режим помещений здания в наиболее холодный зимний период можно характеризовать как удовлетворительный, однако нормативный перепад температуры по вертикали (2°C) в этом здании также не достигнут. Предложенная конструкция цокольного перекрытия обеспечивает лучший температурный режим полов первого этажа по сравнению с ранее исследованными зданиями и может быть рекомендована для применения в районах Крайнего Севера. Однако вопрос о достижении нормативного перепада остается открытым.

Стыки панелей здания прямые, доступные для герметизации при строительстве. Кроме того, с наружной стороны здания все стыки панелей были дополнительно проклеены слоем рубероида на битумной мастике, что оказало положительное влияние, так как снизилась их воздухопроницаемость. Подобное решение стыковых соединений следует признать рациональным и рекомендовать его к широкому применению в строительной практике.

Исследования температурных полей на внутренних поверхностях наружных стеновых ограждающих конструкций в январе 1975 г. показали, что средняя температура их достаточно высокая 18—22°C (рис. 25). Распределение температуры по поверхности равномерное, резко охлажденных участков нет. Температурный перепад «ограждение — воздух» не превышает 2—3°C, что указывает на высокие теплозащитные свойства ограждений.

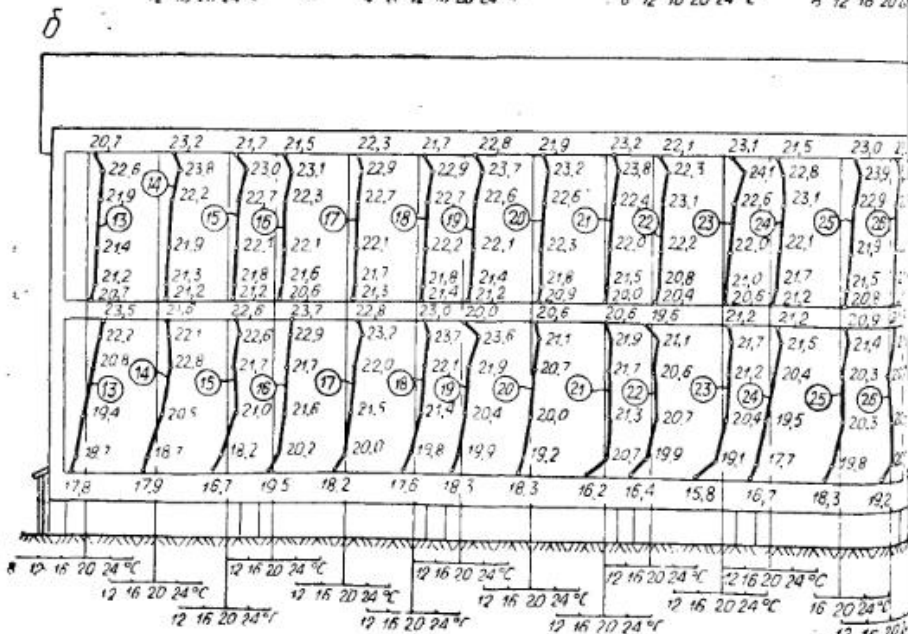
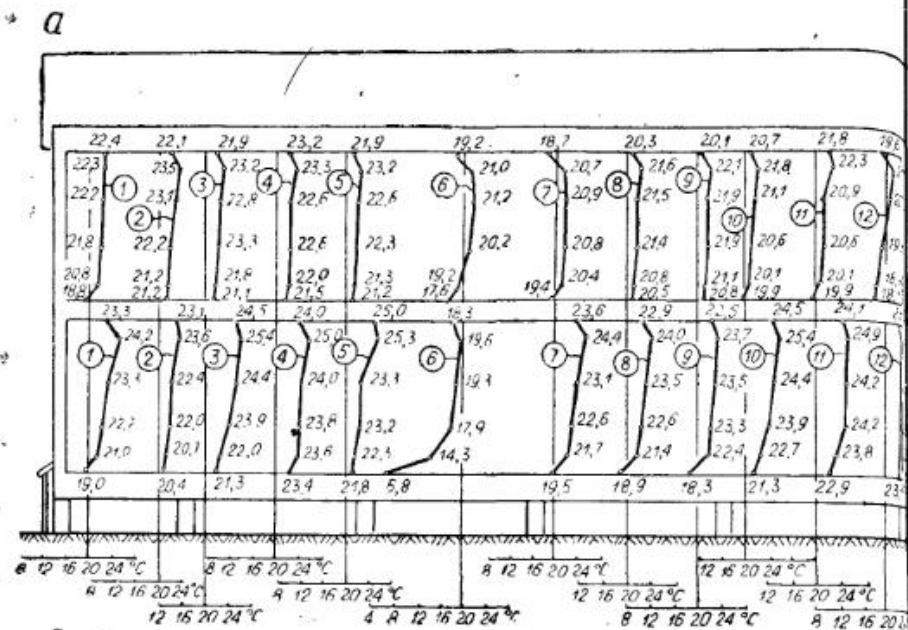


Рис. 24. Распределение температуры внутреннего воздуха по вертикали в помещениях экспериментального 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей в пос. Табага. Январь 1975 г., $t_{н.ср} = -46^{\circ}\text{C}$;

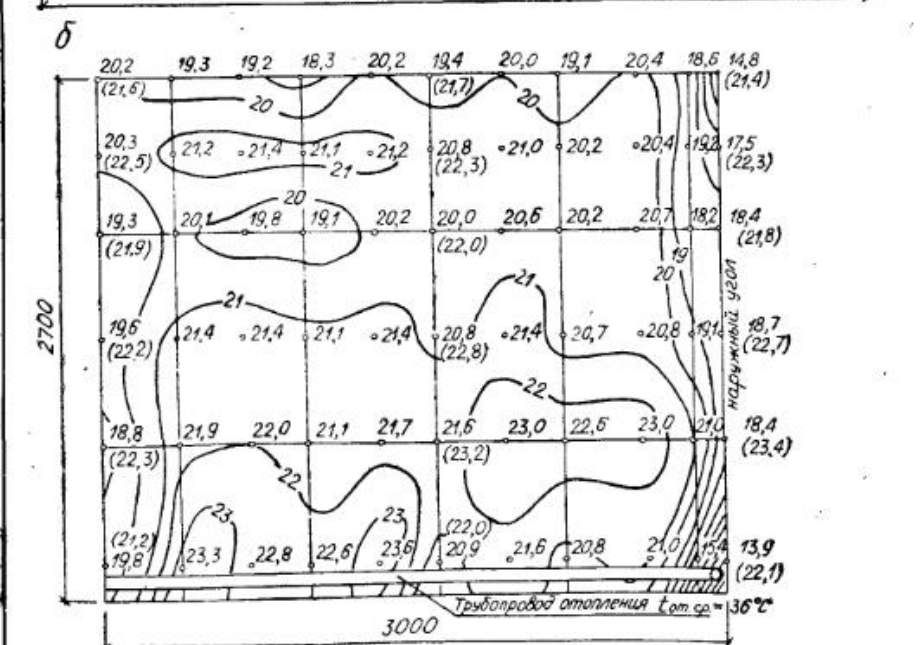
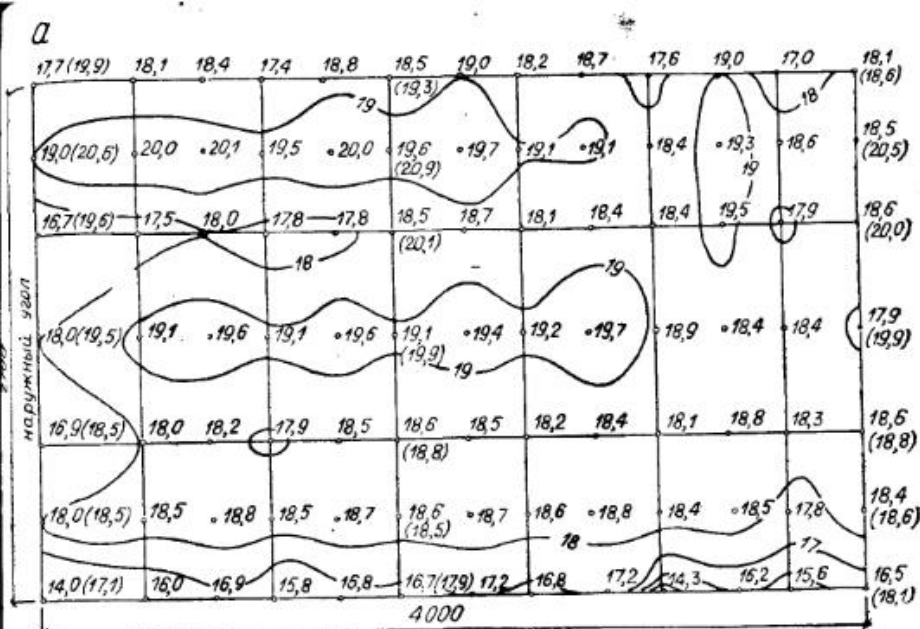


Рис. 25. Распределение температуры на внутренних поверхностях наружных стен экспериментального 8-квартирного жилого здания из клефанерных панелей в пос. Табага. Январь 1975 г., $t_{н.ср} = -46^{\circ}\text{C}$;

По результатам проведенных наблюдений на экспериментальном 8-квартирном здании из клефанерных панелей в пос. Табага можно сделать следующие выводы.

Температурный режим стеновых ограждающих конструкций в зимний период практически не зависит от ориентации и может рассматриваться как стационарный. Ограждающие конструкции обладают высокими теплозащитными свойствами.

Предложенная конструкция цокольного перекрытия обеспечивает более удовлетворительный температурный режим полов первого этажа по сравнению с ранее рассмотренными и может быть рекомендована к применению. При проектировании стыковых соединений предпочтение следует отдавать прямым стыкам, доступным для герметизации при строительстве.

В условиях сухого климата Центральной Якутии влажностный режим ограждающих конструкций здания в течение первых 1,5—2 лет нормализуется.

В наиболее яркие по температурным колебаниям периоды наблюдаются повышенные суточные колебания температуры воздуха в помещениях, в 2—3 раза превышающие нормативные.

Летом отмечен существенный перегрев помещений здания. Температура воздуха повышается до 28—31°C. Особенно сильный перегрев в помещениях второго этажа южного сектора.

В результате проведенных натурных исследований выявлены особенности температурного режима легких ограждающих конструкций и микроклимата помещений малоэтажных зданий, эксплуатируемых в условиях резко континентального климата Центральной Якутии. Показано, что в этих условиях важно обеспечить не только надежную тепловую защиту зданий в наиболее холодный зимний период, но и защиту их от летнего перегрева и достаточную теплоустойчивость в переходные периоды года. Ограждающие конструкции должны быть рассчитаны как на стационарный тепловой режим, так и на нестационарные тепловые воздействия. Для проведения подобных расчетов необходимо располагать достаточно полными данными по теплофизическим свойствам материалов. Необходимо иметь данные не только по теплопроводности утеплителей, но и по их температуропроводности, которая определяет скорость распространения температуры в материале. Экспериментальному исследованию теплофизических характеристик ряда полимерных теплоизоляционных материалов, применяемых в легких ограждающих конструкциях, посвящена следующая глава работы.

Глава 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПЕНОПЛАСТОВ

Выше было показано, что в качестве утеплителей легких ограждающих конструкций зданий на Крайнем Севере наиболее широкое применение получили минераловатные плиты на синтетическом связующем и пенопласты. Из большого многообразия пенопластов, выпускаемых отечественной промышленностью, в строительной практике особенно часто используются полистирольные беспрессовые, фенольные, пенополиуретаны и карбамидные пенопласты. В ряде организаций ведутся работы по повышению физико-механических свойств пенопластов и снижению их стоимости. Для улучшения структуры пенопластов в состав исходных компонентов вводятся различные химические добавки, выявляются наиболее рациональные рецептуры, определяются оптимальные режимы технологии их изготовления. Для повышения прочностных свойств пенопластов широко используются различные наполнители (стекловолокно, древесные отходы и др.), играющие роль армирующих материалов. При этом снижается удельный расход полимерной смолы, что ведет к уменьшению стоимости пенопластов.

Во ВНИИНСМе путем подбора гранулометрического состава гранул полистирола и обработки предварительно вспененных гранул под избыточным давлением (до 4 атм) удалось при сохранении прочностных характеристик снизить плотность пенопласта ПСБ в среднем на 15—20%, доведя ее до 10—13 кг/м³. При этом себестоимость пенопласта снизилась на 8—10% [182, 183]. В этом же институте разработан новый вид пенопласта — СПУ (стирольно-полиуретановый) [184]. Материал получен при совместном вспенивании компонентов пенополиуретана с предварительно подвспененными гранулами пенополистирола. Известно, что пенополиуретан обладает хорошими физико-механическими свойствами, однако вследствие дефицитности сырья является дорогостоящим материалом. Стоимость же ПСБ значительно меньше, чем пенополиуретана, но по физико-механическим свойствам он существенно ему уступает. Пенопласт

СПУ, полученный путем синтеза этих двух материалов, обладает достаточно хорошими физико-механическими свойствами, а его стоимость примерно на 50% меньше стоимости пенополиуретана.

В СибЗНИИЭПе ведутся работы по улучшению свойств пенопласта ФПБ. Введением в состав пенокомпозиции различных химических добавок, а также вспениванием компонентов при разрежении достигнуто уменьшение плотности ФПБ, улучшение структуры материала и повышение его физико-механических свойств [185].

В Новосибирском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева получен материал для легких ограждающих конструкций на основе пенопласта ФПБ, с древесным наполнителем, отличающийся высокими прочностными свойствами [186].

В Институте Теплопроект разработан способ получения пенопласта ФРП-1, армированного стекловолокном. Прочность армированного пенопласта при изгибе возросла в 2,5 раза [187].

Во ВНИИСТе создан эффективный теплоизоляционный материал, названный «ПСФ-ВНИИСТ» (полистирольно-фенольный), полученный при совместном вспенивании компонентов пенопласта ФРП-1 с гранулами пенополистирола с добавлением фурилового спирта. Он отличается более равномерной мелкопористой структурой и повышенными прочностными свойствами [188].

Ведутся работы по улучшению свойств карбамидных пенопластов, применяемых в строительстве [189—192].

Таким образом, появляются все новые разновидности пенопластов, перспективных к применению в легких ограждающих конструкциях. Совершенствуются и улучшаются свойства известных видов пенопластов, уже нашедших широкое применение в строительных конструкциях.

Проведение различных теплотехнических расчетов легких ограждающих конструкций возможно только при наличии достаточно полных данных по теплофизическим характеристикам их утеплителей. Для оценки теплотехнических качеств ограждений в условиях эксплуатации необходимо также знать зависимости теплофизических характеристик материалов от температуры и влажности, которые в реальных условиях эксплуатации могут изменяться в широких пределах.

Действующие нормы по теплотехническому расчету ограждений — СНиП II-3-79 — не охватывают всех разновидностей пенопластов, разработанных в последние годы.

В многочисленной технической литературе по строительным конструкциям с применением пластмасс приводится в основном коэффициент теплопроводности известных пенопластов в сухом состоянии при температуре 20°C. Других данных по теплофизи-

ческим характеристикам пенопластов в этих источниках, как правило, не содержится. В известных трудах по теплофизическим характеристикам строительных и теплоизоляционных материалов Б. Н. Кауфмана [193], В. Л. Шевелькова [194], М. М. Голянда [195], А. Д. Дмитриевича [196], А. Ф. Чудновского [197], В. С. Чиркина [198], М. Г. Каганера [199], Л. Л. Васильева, Ю. Е. Фраймана, С. А. Танаевой [200, 201], А. У. Франчука [202] также мало данных по теплофизическим свойствам пенопластов.

Изучению теплофизических свойств пенопластов, применяемых как для строительных ограждающих конструкций, так и для низкотемпературной изоляции, посвящены работы Д. М. Дудника, Л. З. Мельцер, А. Н. Степаненко [203—205], Г. К. Авдеева, В. А. Назарова [206—208], М. С. Доннера [209, 210], В. П. Черепанова, И. В. Шамова [211], Г. М. Кудрячевой, Л. А. Новицкого, И. Г. Кожевникова [212, 213], М. П. Емченко, А. Н. Крашенинникова, Л. А. Оборина, И. А. Казанцева, Н. Г. Шплет, В. Д. Зорянинова [214—216], В. Р. Хлевчука и др. [217].

Анализ литературных данных показал, что разные виды пенопластов изучены в различной степени. Из пенопластов, широко используемых в строительстве, более детально изучены теплофизические характеристики ПСБ, ФРП-1, ФЛ, ППУ-3, мипоры. Следует также отметить, что коэффициент теплопроводности пенопластов изучен значительно лучше, чем их коэффициент температуропроводности.

Пенопласт ПСБ — широко известный в строительной практике утеплитель. Данные по его теплофизическим характеристикам имеются во многих работах [199, 203, 205, 206, 208, 209—213, 216—223]. Известно, что теплофизические характеристики утеплителя зависят от его плотности, температуры, влажности и некоторых других факторов (давления, размеров пор и т. д.).

В работе Б. Н. Кауфмана и др. [221] установлено, что коэффициент теплопроводности пенопласта ПСБ с увеличением его плотности от 17,7 до 85,0 кг/м³ монотонно возрастает с 0,027 до 0,040 ккал/(м·ч·°С). Из работ же В. П. Черепанова, И. В. Шамова [211], П. В. Годило и др. [220] следует, что наименьший коэффициент теплопроводности 0,025—0,031 ккал/(м·ч·°С) — наблюдается у пенопласта ПСБ плотностью 30—40 кг/м³, а при дальнейшем как увеличении, так и уменьшении его плотности коэффициент теплопроводности возрастает. Повышение этого показателя ПСБ при малой плотности его объясняется укрупнением размеров пор в материале и увеличением конвективной составляющей теплопередачи.

М. С. Доннером [210] и М. Г. Каганером [199] установлено, что коэффициент теплопроводности сухих пенопластов ПСБ и ПСБ-С плотностью 25—50 кг/м³ при понижении температуры от 30 до —180°C линейно уменьшается от 0,035—0,037 до

0,010—0,013 ккал/(м·ч·°С). Тенденция уменьшения коэффициента теплопроводности отечественных и зарубежных пенополистиролов при понижении температуры отмечена и в работах [203, 208, 212, 213, 220].

По данным Г. К. Авдеева [206], с увеличением объемной влажности пенопласта ПСБ плотностью 24 и 45 кг/м³ от 0 до 12—16% его коэффициент теплопроводности при комнатной температуре возрастает от 0,024—0,026 до 0,070—0,081 ккал/(м·ч·°С). М. С. Доннером [210] получены интересные зависимости коэффициента теплопроводности пенопласта ПСБ-С от его влажности при отрицательных температурах. Автором установлено, что если при положительной температуре (25°С) с увеличением объемной влажности ПСБ-С от 0 до 4% его коэффициент теплопроводности увеличился от 0,035 до 0,045 ккал/(м·ч·°С), то при температуре —70°С он изменился от 0,020 до 0,028 ккал/(м·ч·°С), а при температуре —180°С — лишь от 0,010 до 0,014 ккал/(м·ч·°С). Следовательно, теплопроводность влажного пенопласта при отрицательной температуре ниже, чем при положительной. Объясняется это тем, что с понижением температуры влага, содержащаяся в материале, замерзая, превращается не в лед, а в иней с коэффициентом теплопроводности 0,04—0,08 ккал/(м·ч·°С), т. е. значительно меньшим, чем у воды [210]. Аналогичные зависимости коэффициента теплопроводности от влажности при отрицательных температурах получены Н. В. Паком для керамзитобетона, кирпича и других строительных материалов [224, 225].

В справочнике Л. А. Новицкого и И. Г. Кожевникова [213] приведены значения коэффициента теплопроводности пенопласта ПСБ в сухом состоянии в диапазоне температур от 27 до —173°С при различных давлениях: 10², 10¹, 10⁰, 10⁻¹, 10⁻² мм рт. ст. С понижением давления теплопроводность пенопласта существенно уменьшается. Так, если при давлении 10² мм рт. ст. при снижении температуры от 27 до —173°С коэффициент теплопроводности ПСБ понижается от 0,036 до 0,012 ккал/(м·ч·°С), то при давлении 10⁻² мм рт. ст. и таком же снижении температуры — от 0,013 до 0,0025 ккал/(м·ч·°С), т. е. уменьшается примерно в 3—4 раза.

Из вышеизложенного видно, что коэффициент теплопроводности пенопластов ПСБ и ПСБ-С изучен достаточно хорошо. Данные же по коэффициенту температуропроводности этих пенопластов в литературе встречаются реже, причем существуют значительные расхождения. Так, в работе Д. М. Дудника и А. Н. Степаненко [205] приведен коэффициент температуропроводности пенопласта ПСБ ($\gamma = 20$ кг/м³) в сухом состоянии: при температуре 20°С он равен 0,0044, а при температуре 0°С — 0,00435 м²/ч. По данным М. С. Доннера [210], для пенопласта ПСБ-С ($\gamma = 25$ кг/м³) в сухом состоянии при температуре 25°С этот коэффициент равен 0,00437 м²/ч. По данным же Г. К. Ав-

деева [206], коэффициент температуропроводности сухого пенопласта ПСБ плотностью 24 и 45 кг/м³ при комнатной температуре составляет только 0,0018 м²/ч, т. е. почти в 2,5 раза меньше, чем у предыдущих авторов.

При увеличении объемной влажности пенопласта ПСБ от 0 до 12—16% его коэффициент температуропроводности при положительной температуре уменьшается с 0,0018 до 0,0003—0,0005 м²/ч [206]. Зависимость же этого показателя от влажности пенопласта при отрицательных температурах остается неисследованной.

Удельная теплоемкость сухих пенопластов ПСБ и ПСБ-С при температуре 20—25°С равна 0,30—0,32 ккал/(кг·°С) [207, 210, 216].

Фенольный пенопласт ФРП-1 также является одним из наиболее известных теплоизоляторов. Простота технологии изготовления, невысокая стоимость и трудновоспламеняемость — наиболее ценные свойства этого материала. Его теплофизические характеристики приведены в работах [171, 207, 210, 216, 218, 220].

По данным В. А. Назарова и Г. К. Авдеева [207], коэффициент теплопроводности пенопласта ФРП-1 в сухом состоянии с увеличением плотности линейно возрастает и может быть определен по формуле

$$\lambda = 0,02 + 0,000059\gamma_c \text{ ккал/(м·ч·°С)}, \quad (26)$$

где γ_c — плотность пенопласта в сухом состоянии, кг/м³.

Следует отметить, что коэффициент теплопроводности ФРП-1, рассчитанный по данной формуле, имеет весьма низкое значение. Так, при увеличении плотности материала от 30 до 100 кг/м³ коэффициент теплопроводности, согласно (26), изменяется от 0,022 до 0,026 ккал/(м·ч·°С). В работе же [218] дано, что при плотности 30÷100 кг/м³ коэффициент теплопроводности ФРП-1 равен 0,027÷0,035 ккал/(м·ч·°С), т. е. примерно на 30% выше, чем в первом случае.

С понижением температуры от 25 до —180°С коэффициент теплопроводности сухого пенопласта ФРП-1 линейно уменьшается от 0,037 до 0,011 ккал/(м·ч·°С) [210]. Уменьшение коэффициента теплопроводности ФРП-1 с понижением температуры отмечено также в работах [213, 216, 220].

При положительных температурах с увеличением влажности материала коэффициент теплопроводности его значительно повышается. Так, по данным М. С. Доннера [210], при увеличении объемной влажности ФРП-1 от 0 до 70% его коэффициент теплопроводности при температуре 25°С возрастает от 0,037 до 0,24 ккал/(м·ч·°С), т. е. в 6,5 раза. Аналогичная зависимость $\lambda = f(\omega)$, только в меньшем диапазоне влажности ($\omega_0 = 0 \div 6,4\%$), получена И. А. Казанцевым [171].

Представляют значительный интерес данные о коэффициенте

теплопроводности влажного ФРП-1 при отрицательных температурах, представленные в работе [210]. Установлено, что до определенной влажности ($w_0=30-40\%$) коэффициент теплопроводности ФРП-1 при отрицательных температурах ниже, чем при положительных, а затем, при дальнейшем увлажнении, становится выше. Объясняется это тем, что в пределах сорбционной влажности при отрицательных температурах в материале образуется не лед, а иней с низким коэффициентом теплопроводности. За пределами сорбционной влажности при понижении температуры в материале образуются кристаллы льда, которые, подсасывая влагу, обезвоживают мелкие поры, что также ведет к понижению коэффициента теплопроводности. Только при значительном увлажнении наступает такой момент, когда кристаллы льда смыкаются, образуя «мостики холода», и с этого момента теплопроводность пенопласта быстро растет и становится выше, чем при положительных температурах. Понижение коэффициента теплопроводности увлажненного пенопласта ФРП-1 при отрицательных температурах отмечено и в работе [216].

Таким образом, из вышеизложенного видно, что коэффициент теплопроводности пенопласта ФРП-1 изучен довольно глубоко, в широком диапазоне изменения плотности, температуры и влажности. Что же касается коэффициента температуропроводности этого материала, то он изучен недостаточно. Только в работе [210] приведено его значение при температуре 25°C для ФРП-1 в сухом состоянии, равное $0,0033 \text{ м}^2/\text{ч}$. Не исследована зависимость коэффициента температуропроводности ФРП-1 от влажности как при положительных, так и при отрицательных температурах.

Удельная теплоемкость сухого пенопласта ФРП-1 при температуре 20°C равна $0,37-0,40 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ [171, 210].

Пенопласт ФПБ, разработанный СибЗНИИЭПом, нашел широкое применение как утеплитель легких ограждающих конструкций на стройках Западной Сибири [72, 226]. Изучению физико-механических свойств пенопласта ФПБ посвящены работы [73, 226]. Основное внимание в них уделено прочностным, деформативным и адгезионным свойствам материала, а также его морозостойкости. Теплофизические же характеристики ФПБ изучены слабо. Приведены лишь значения коэффициента теплопроводности пенопласта плотностью $40-150 \text{ кг}/\text{м}^3$ при объемной влажности $0,97-5,34\%$. Они изменялись в пределах $0,030-0,054 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$. Зависимости теплофизических характеристик пенопласта ФПБ от температуры и влажности не исследовались.

Как уже отмечалось, специалисты СибЗНИИЭП ведут работы по дальнейшему улучшению физико-механических свойств пенопласта ФПБ. Разработано два способа снижения плотности материала при сохранении или даже некотором повышении

его прочностных характеристик. Первый способ — применение кремнефтористых добавок в составе пенокомпозиции, второй — вспенивание компонентов при разрежении. Получены опытные образцы новых материалов, исследованы их физико-механические свойства [185]. Теплофизические же характеристики этих материалов подробно не изучены.

На кафедре полимеров и технологии бетонов Новосибирского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева разработан утеплитель на основе пенопласта ФПБ с различным содержанием древесного наполнителя, названный «древопенопластом» [186]. Материал отличается высокими прочностными свойствами, меньшей деформативностью и, в зависимости от количества наполнителя, а, следовательно, и его плотности, может быть использован как в несущих, самонесущих, так и в навесных ограждающих конструкциях малоэтажных зданий.

Специалистами НИСИ им. В. В. Куйбышева разработана технология изготовления древопенопласта, исследованы его механические характеристики и даны рекомендации по применению в строительстве. Из теплофизических характеристик исследовался только коэффициент теплопроводности сухого материала при комнатной температуре в зависимости от его плотности [186]. Более подробное изучение его теплофизических свойств не проводилось.

Таким образом, можно заключить, что теплофизические характеристики пенопласта ФПБ и новых материалов, полученных на его основе, изучены недостаточно.

Пенопласт ФЛ, разработанный ЛенЗНИИЭПом, широко применяется для теплоизоляции мобильных сборно-разборных и передвижных зданий для районов Крайнего Севера [171, 227]. Материал имеет равномерную, открытопористую структуру. Плотность его может изменяться в широких пределах — от 40 до $240 \text{ кг}/\text{м}^3$, в зависимости от состава пенокомпозиции. Изучению его механических и теплофизических характеристик посвящены работы [171, 214, 215, 227, 228].

Установлено [171, 214], что с увеличением плотности сухого пенопласта ФЛ от 40 до $240 \text{ кг}/\text{м}^3$ его коэффициент теплопроводности при температуре 20°C возрастает от $0,038$ до $0,058 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$, а коэффициент температуропроводности уменьшается от $0,0019$ до $0,00065 \text{ м}^2/\text{ч}$. Исследована зависимость коэффициента теплопроводности ФЛ от влажности при различной его плотности [215]. Установлено, что с увеличением влажности материала коэффициент теплопроводности значительно повышается: чем выше плотность пенопласта, тем интенсивнее растет коэффициент теплопроводности. Так, если при $\gamma=60 \text{ кг}/\text{м}^3$ с увеличением весовой влажности от 0 до 100% коэффициент теплопроводности пенопласта возрастает от $0,04$ до $0,058 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$, т. е. примерно в $1,5$ раза, то при $\gamma=200 \text{ кг}/\text{м}^3$ с таким же изменением влажности значение этого показателя уве-

личивается от 0,056 до 0,11 ккал/(м·ч·°С), т. е. уже в 2 раза [215].

Приведенные выше данные получены при температуре 20°С. С понижением температуры коэффициент теплопроводности пенопласта ФЛ как в сухом, так и в увлажненном состоянии понижается, причем для увлажненного материала это понижение более заметно. Так, если при понижении температуры от 20 до -10°С коэффициент теплопроводности сухого пенопласта ($\gamma = 60 \text{ кг/м}^3$) снижается незначительно — с 0,04 до 0,039, то при влажности 80% и таком же изменении температуры он уменьшается от 0,055 до 0,043 ккал/(м·ч·°С), т. е. почти на 30% [171].

По данным И. А. Казанцева [171], удельная теплоемкость пенопласта ФЛ в сухом состоянии независимо от его плотности равна 0,37 ккал/(кг·°С).

Таким образом, теплофизические характеристики пенопласта ФЛ изучены достаточно подробно, однако как и у рассмотренных выше материалов, у ФЛ лучше изучен коэффициент теплопроводности, чем коэффициент температуропроводности.

Пенополиуретаны ППУ-3С и ППУ-3Н являются одними из наиболее распространенных теплоизоляционных материалов, используемых в строительстве [229, 230]. Они обладают высокой стойкостью к атмосферным воздействиям и хорошими физико-механическими свойствами.

Исследованию физико-механических и теплофизических свойств пенополиуретанов посвящены работы [203, 204, 210, 212, 229, 230]. Следует отметить, что теплофизические характеристики ППУ-3С изучены более детально, чем ППУ-3Н. В работе М. С. Доннера [210] представлены значения коэффициента теплопроводности ППУ-3Н ($\gamma = 70 \text{ кг/м}^3$) в сухом состоянии в диапазоне температур от 25 до -180°С. С понижением температуры его коэффициент теплопроводности линейно уменьшается от 0,038 до 0,012 ккал/(м·ч·°С). При температуре 25°С коэффициент температуропроводности сухого ППУ-3Н равен $0,00157 \text{ м}^2/\text{ч}$, а удельная теплоемкость $0,36 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{С})$ [210]. Зависимость теплофизических характеристик этого материала от влажности при различных температурах не исследовалась.

Коэффициент теплопроводности ППУ-3С изучен в зависимости от температуры и влажности. В сухом состоянии при понижении температуры от 25 до -180°С его коэффициент теплопроводности уменьшается с 0,037 до 0,011 ккал/(м·ч·°С). Исследование теплопроводности ППУ-3С в зависимости от влажности при положительных и отрицательных температурах показало, что для данного материала наблюдается такая же закономерность, как и для пенопласта ПСБ, т. е. коэффициент теплопроводности влажного материала при отрицательных температурах меньше, чем при положительных. Так, при темпера-

туре 25°С с увеличением объемной влажности пенопласта от 0 до 6% его коэффициент теплопроводности растет от 0,035 до 0,058 ккал/(м·ч·°С), при температуре -70°С и таком же изменении влажности он изменяется от 0,024 до 0,038 ккал/(м·ч·°С), при температуре -180°С — от 0,011 до 0,025 ккал/(м·ч·°С) [210].

Коэффициент температуропроводности и удельная теплоемкость ППУ-3С даны только для температуры 25°С и сухого состояния и соответственно равны $0,00176 \text{ м}^2/\text{ч}$ и $0,35 \text{ ккал}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{С})$ [210].

Из вышеизложенного видно, что теплопроводность ППУ-3С исследована лучше, чем ППУ-3Н, а температуропроводность обоих материалов изучена недостаточно.

Карбамидные пенопласты — МФП, БП, мипора — наиболее легкие и дешевые из всех пенопластов. Их плотность колеблется от 10 до 40 кг/м³. Недостатками этих материалов являются повышенное водопоглощение, значительная усадка после вспенивания и малая механическая прочность. Поэтому при использовании в строительных конструкциях они должны быть тщательно изолированы от увлажнения и освобождены от несения нагрузки. Мипора и некоторые другие виды карбамидных пенопластов сравнительно давно применяются в промышленности и строительстве и сведения по их теплофизическим характеристикам имеются во многих работах [179, 189—191, 194—197, 199, 215, 216].

Таким образом, анализ литературных данных показал, что в некоторых случаях в значениях теплофизических параметров пенопластов имеются существенные расхождения. Теплофизические свойства разных видов пенопластов исследованы в различной степени: более подробно — ПСБ, ПСБ-С, ФРП-1, ФЛ, ППУ-3С, мипоры, менее — ППУ-3Н, ФПБ и ряда новых материалов, полученных на его основе.

Кроме того, следует отметить, что коэффициент температуропроводности всех рассмотренных пенопластов изучен в меньшей степени, чем коэффициент теплопроводности. Зависимость этого параметра большинства пенопластов от влажности при положительных и отрицательных температурах не исследована.

В настоящей работе поставлены следующие задачи экспериментальных исследований:

— изучить теплофизические характеристики и их зависимость от температуры и влажности ряда новых полимерных теплоизоляционных материалов, разработанных в последние годы;

— получить более полные данные по коэффициенту температуропроводности пенопластов.

Коэффициент температуропроводности необходим для расчета легких ограждающих конструкций на теплоустойчивость. Как известно [231—233], он является одним из основных пара-

метров материалов, определяющих затухание температурных волн в ограждении.

Изучались теплофизические характеристики пенопластов: ПСБ; ППУ-3Н; ФРП-1, ФПБ; ФПБ с добавкой 0,4% кремнефтористого натрия; ФПБ, вспененного при разрежении 0,5 атм; ФПБ с 5%-ным содержанием древесного наполнителя; ФПБ с 10%-ным содержанием древесного наполнителя.

Пенопласты ПСБ, ППУ-3Н и ФРП-1 уже находят применение на стройках Якутии. Образцы этих материалов были получены с объектов натуральных исследований. Образцы пенопластов ФПБ, ФПБ с добавкой кремнефтористого натрия и ФПБ, вспененного при разрежении, получены у авторов этих материалов — в СибЗНИИЭПе. Образцы древопенопластов, т. е. ФПБ с 5- и 10%-ным содержанием древесного наполнителя получены в Новосибирском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева.

Исследовались коэффициенты теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости данных пенопластов в зависимости от температуры (в диапазоне от 25 до -20°C) и влажности (от сухого состояния до влажности намокания). Выбранный диапазон влагосодержания вполне соответствует возможным его значениям в условиях эксплуатации зданий на Крайнем Севере.

§ 2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕНОПЛАСТОВ

Для исследования теплофизических характеристик пенопластов в данной работе использовался метод регулярного теплового режима второго рода (квазистационарного теплового режима) [196]. Квазистационарным, как известно, называется такой режим нагревания (или охлаждения) какого-либо тела, при котором температура любой его точки является линейной функцией времени, а распределение температуры по сечению тела описывается законом параболы. Квазистационарный тепловой режим наступает по истечении некоторого промежутка времени, считая от начала процесса, если нагрев производят одинаковым по плотности и постоянным во времени тепловым потоком.

Важное преимущество данного метода заключается в том, что из одного опыта можно получить значения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости одновременно. При этом имеется возможность получения непрерывной кривой измерения исследуемого теплового параметра в широком интервале температур. Кроме того, при данном методе продолжительность опытов сравнительно невелика (до 2—2,5 часов с учетом времени фазового перехода), что особенно важно при исследовании влажных материалов.

Формулы для расчетов теплофизических характеристик материалов получены исходя из следующего.

При нагреве неограниченной пластины толщиной $2R$ постоянным тепловым потоком ($q = \text{const}$) уравнение температурного поля можно записать в виде [234]

$$t_{x,\tau} = \bar{t}_0 + \frac{qR}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{R^2} - \frac{1}{6} \left(1 - 3 \frac{x^2}{R^2} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp \left(-\mu_n^2 \frac{a\tau}{R^2} \right) \right], \quad (27)$$

где $t_{x,\tau}$ — температура в точке с координатой x в момент времени τ , $^{\circ}\text{C}$;

\bar{t}_0 — средняя начальная температура тела, $^{\circ}\text{C}$.

При $\tau \geq 0,5 \frac{R^2}{a}$ в образце наступает квазистационарный тепловой режим. При этом с погрешностью 0,25% всеми членами ряда в выражении (27) можно пренебречь [235]. Тогда

$$t_{x,\tau} = \bar{t}_0 + \frac{qR}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{R^2} - \frac{1}{6} \left(1 - 3 \frac{x^2}{R^2} \right) \right]. \quad (28)$$

Используя (28), получим для разности температур между точками с координатами x_1 и x_2

$$t_{x_1,\tau} - t_{x_2,\tau} = \frac{q}{2\lambda R} (x_2^2 - x_1^2). \quad (29)$$

Если измерять температуру в центре пластины ($x_1 = 0$) и на ее поверхности ($x_2 = R$), то уравнение для расчета коэффициента теплопроводности примет вид

$$\lambda = 0,5q \frac{R}{\Delta t_0} = 0,86 \frac{J^2 r R}{4S \Delta t_0} \text{ ккал/(м. ч. } ^{\circ}\text{C)}. \quad (30)$$

Коэффициент температуропроводности при $F_0 \geq 0,5$ можно определить по скорости нагрева $b = \frac{\Delta t}{\Delta \tau}$ и перепаду температур на стенках образца Δt_0

$$a = \frac{bR^2}{2\Delta t_0} = \frac{R^2 \Delta t}{2\Delta t_0 \Delta \tau} \text{ м}^2/\text{ч}. \quad (31)$$

Объемная теплоемкость пластин определяется из уравнения теплового баланса

$$c_T = 0,86 \frac{J^2 r \Delta t}{2V \Delta t} \text{ ккал/ (м}^3 \cdot \text{°C) ,} \quad (32)$$

- где J — сила тока, А;
 r — сопротивление нагревателя, Ом;
 R — толщина пластины, м;
 S — площадь поверхности пластины, м²;
 Δt_0 — перепад температур на поверхностях пластины, °С;
 Δt — время, ч;
 Δt — изменение температуры пластины за время Δt °С,
 V — объем пластины, м³.

Принципиальная схема экспериментальной установки приведена на рис. 26. Исследуемый пенопласт в виде пластин (1) собирается в пакет. Между двумя пластинами помещается рабочий нагреватель (2), который питается от УИП (3), при этом сила тока контролируется миллиамперметром (4). Абсолютная температура центра пластины замеряется дифференциальной

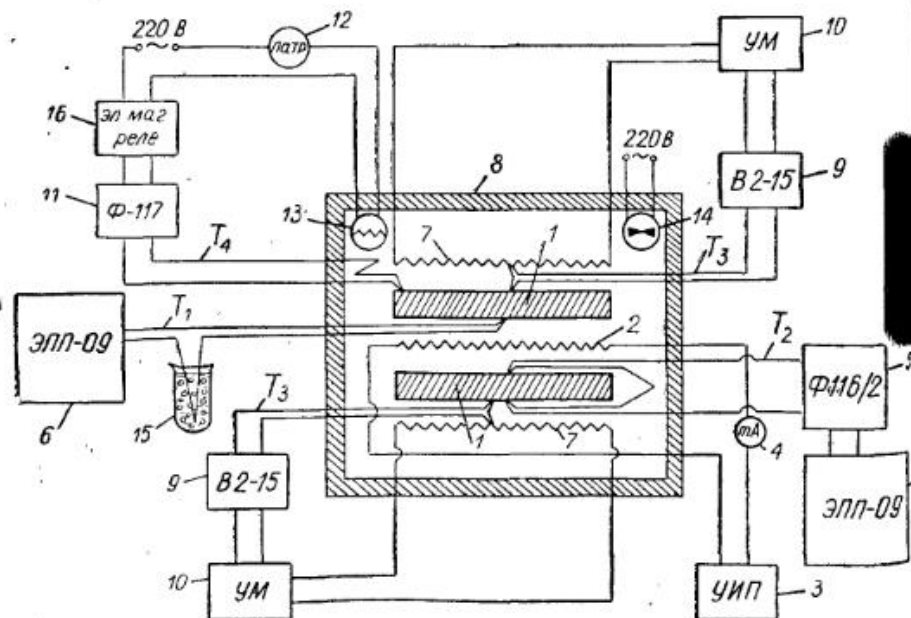


Рис. 26. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1—исследуемый материал; 2—рабочий нагреватель; 3—универсальный источник питания; 4—миллиамперметр М-253; 5—фотокомпенсационный усилитель Ф116/2; 6—электронный потенциометр ЭПП-09 М3; 7—охранные нагреватели; 8—рабочая камера; 9—милливольтметр В2-15; 10—усилитель мощности; 11—фотокомпенсационный усилитель Ф-117; 12—ЛАТР; 13—электрическая лампа 100 Вт; 14—вентилятор ТВ-1; 15—сосуд Дьюара; 16—электромагнитное реле. T_1, T_2, T_3, T_4 —дифференциальные термопары

термопарой T_1 , холодный спай которой помещен в сосуд Дьюара (15). Перепад температур между центром и поверхностью пластины измеряется дифференциальной термопарой T_2 и через фотокомпенсационный усилитель (5) записывается на ленте потенциометра ЭПП-09 М3 (6).

Практически стремятся к тому, чтобы тепловые потери были пренебрежимо малы по сравнению с потоком тепла, идущего на нагревание образца. С этой целью в данной установке применялись активные охранные системы, снабженные вспомогательными нагревателями (7), позволяющими поддерживать нулевую разность температур в направлении, перпендикулярном к боковым поверхностям пластин. Торцевые утечки тепла устранялись использованием адиабатической камеры (8).

Перед выполнением рабочих опытов с пенопластами была проведена тарировка экспериментальной установки по полиметилметакрилату. Полученные значения его теплофизических характеристик хорошо согласуются с данными других исследователей [235, 236]. Относительная погрешность метода по определению теплофизических характеристик пенопластов не превышает $\pm 10\%$.

Из каждого вида пенопластов было изготовлено по 3—5 рабочих образцов, состоящих из двух пластин с размерами $7 \times 7 \times 11$ см. Размеры выбраны из условия неограниченности пластины $L \geq 6R$ [196], где L — длина (ширина) пластины; R — ее толщина. Образцы подбирались таким образом, чтобы разница в плотности двух пластин была минимальной.

Увлажнение пенопластов осуществлялось следующим образом: испытуемые образцы погружались в дистиллированную воду и выдерживались в ней в течение 3—4 суток. Избыточная свободная влага удалялась в результате их суточной выстойки в эксикаторах с относительной влажностью воздуха $\phi = 100\%$. Влажность по массе, достигаемая таким путем, для разных видов пенопластов была различной. Наименьшая влажность ($\sim 70\%$) наблюдалась у ПСБ, наибольшая ($\sim 400\%$) — у ФРП-1. Влажность других исследованных пенопластов находилась в пределах $100 \div 220\%$. Различная степень увлажнения пенопластов обусловлена особенностями их структурного строения (соотношением количества открытых и замкнутых пор, их размерами и т. д.). Промежуточные точки по влажности получены путем подсушивания образцов в комнатных условиях с последующей суточной выдержкой их в эксикаторах при $\phi = 100\%$ с целью выравнивания влажности по объему. Взвешивались образцы до и после каждого опыта. Как показали исследования, их влажность в процессе эксперимента изменялась на 1—4%, что было учтено при обработке результатов.

До начала опытов образцы, помещенные в адиабатическую камеру, охлаждались до температуры минус 25—30°С путем выстойки в холодильной камере. Затем, в ходе проведения опы-

тов, образцы нагревались до 25°C. Температурная зависимость теплофизических характеристик пенопластов устанавливалась по данным термографической записи, осуществляемой непрерывно в процессе эксперимента.

§ 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ АНАЛИЗ

Теплофизические характеристики исследованных пенопластов в сухом состоянии при положительных и отрицательных температурах представлены в табл. 14. Из приведенных данных видно, что коэффициент теплопроводности большинства исследованных пенопластов имеет близкие значения: 0,029—0,033 ккал/(м·ч·°C). Несколько выше коэффициент теплопроводности пенопласта ФПБ с древесным наполнителем 0,041—0,045 ккал/(м·ч·°C). Важно отметить, что при введении древесного наполнителя в пенопласт ФПБ его плотность увеличивает-

ся примерно в 4—5 раз, а коэффициент теплопроводности при этом возрастает только в 1,3—1,5 раза, что обусловлено низким коэффициентом теплопроводности древесного наполнителя. Это ценное свойство нового материала, так как с увеличением плотности существенно повышается и его прочность, а теплозащитные качества при этом сохраняются достаточно высокими.

С понижением температуры коэффициент теплопроводности пенопластов имеет тенденцию к уменьшению. В исследованном диапазоне температур коэффициент теплопроводности материалов уменьшается в среднем на 5—10%. Более заметна температурная зависимость этого параметра пенопластов ПСБ, ФРП-1, ФПБ с кремнефтористой добавкой. Для пенопластов же с большей плотностью эта зависимость выражена слабее.

Удельная теплоемкость исследованных пенопластов при положительной температуре составляет 0,3—0,46 ккал/(кг·°C). С понижением температуры удельная теплоемкость пенопластов уменьшается, но для разных их видов эта тенденция выражается в различной степени. В исследованном температурном диапазоне особенно заметное понижение удельной теплоемкости (на 47—50%) наблюдается у ПСБ, ФРП-1 и ФПБ, вспененного при разрежении. У ППУ-3Н и ФПБ с кремнефтористой добавкой удельная теплоемкость уменьшается на 32—37%, а у пенопластов ФПБ и ФПБ с древесным наполнителем — на 7—8%.

Из представленных данных видно, что температурная зависимость удельной теплоемкости большинства исследованных пенопластов проявляется в большей степени, чем коэффициента теплопроводности, и это приводит к обратной температурной зависимости коэффициента температуропроводности, т. е. с понижением температуры этот параметр повышается. Такая закономерность изменения коэффициента температуропроводности от температуры наблюдается у ПСБ, ППУ-3Н, ФРП-1, ФПБ с кремнефтористой добавкой и ФПБ, вспененного при разрежении. У пенопластов ФПБ и ФПБ с древесным наполнителем температурная зависимость коэффициента температуропроводности практически отсутствует.

Для обеспечения теплоустойчивости легких ограждающих конструкций важно, чтобы утеплитель обладал малым коэффициентом температуропроводности, так как чем меньше этот коэффициент тем большее сопротивление оказывает материал прохождению температурных волн в ограждении. По этому параметру из исследованных материалов выгодно отличается пенопласт ФПБ с древесным наполнителем. Его коэффициент температуропроводности почти вдвое ниже, чем у остальных фенольных пенопластов. Наибольшим же коэффициентом температуропроводности обладает ПСБ, и это является его недостатком. Пенополиуретан ППУ-3Н имеет малый коэффициент теплопроводности и невысокий коэффициент температуропроводности.

Таблица 14

Теплофизические характеристики пенопластов в сухом состоянии при различных температурах

Материал	Объемная масса в сухом состоянии, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности		Удельная теплоемкость		Коэффициент температуропроводности	
		$\lambda, \frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{°C}}$		$c, \frac{\text{ккал}}{\text{кг}\cdot\text{°C}}$		$\alpha \cdot 10^4, \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$	
		Температура, °C					
		25	-20	25	-20	25	-20
ПСБ	24	0,032	0,029	0,34	0,23	39,2	52,5
ППУ-3Н	63	0,032	0,030	0,33	0,25	15,4	19,0
ФРП-1	45	0,033	0,030	0,36	0,24	20,4	27,8
ФПБ	37	0,030	0,028	0,39	0,36	20,8	21,0
ФПБ с кремнефтористой добавкой	30	0,034	0,031	0,45	0,33	25,0	31,4
ФПБ, вспененный при разрежении	31	0,029	0,027	0,46	0,31	20,3	28,0
ФПБ с 5%-ным содержанием древесного наполнителя	137	0,041	0,039	0,30	0,28	10,0	10,3
ФПБ с 10%-ным содержанием древесного наполнителя	178	0,045	0,042	0,30	0,28	8,4	8,4

сти. Такое сочетание теплофизических характеристик наиболее желательно для утеплителей легких ограждающих конструкций.

В процессе эксплуатации зданий их ограждающие конструкции подвергаются температурно-влажностному воздействию внешней и внутренней среды. Поэтому для оценки теплофизических качеств ограждений в условиях эксплуатации необходимо знать характер изменения теплофизических характеристик утеплителей при изменении их влажности и температуры.

Зависимость теплофизических характеристик исследованных пенопластов от влажности при положительных и отрицательных температурах представлена на рис. 27, а—з.

При температуре 20°C с увеличением влажности ПСБ до 70% его коэффициент теплопроводности возрастает примерно на 20%. При температуре -20°C с увлажнением ПСБ коэффициент теплопроводности растет более интенсивно, при этом до влажности ~50% он остается ниже, чем при положительной температуре, а затем, при дальнейшем увлажнении, становится выше (рис. 27, а). Как уже отмечалось, объясняется это особенностями замерзания влаги в высокопористых материалах. Аналогичные зависимости коэффициента теплопроводности от влажности материалов при положительных и отрицательных температурах были получены М. С. Доннером [209, 210] и Н. В. Паком [224, 225] для ряда строительных материалов.

Объемная теплоемкость пенопласта ПСБ с увеличением его влажности линейно возрастает, причем при положительной температуре она растет более интенсивно, чем при отрицательной, а в целом рост объемной теплоемкости происходит интенсивнее, чем коэффициента теплопроводности, и это приводит к понижению его коэффициента температуропроводности (рис. 27, а).

Изменения теплофизических характеристик ППУ-3Н и ПСБ при их увлажнении аналогичны, однако рост коэффициента теплопроводности и объемной теплоемкости у ППУ-3Н происходит интенсивнее, чем у ПСБ. Так, с повышением влажности ППУ-3Н до 140% его коэффициент теплопроводности при положительной температуре возрастает в 1,5 раза, а при отрицательной — в 1,7 раза (рис. 27, б). Еще более интенсивно растет его объемная теплоемкость: при положительной температуре с увлажнением пенополиуретана до 140% — примерно в 5 раз, а при отрицательной — в 4 раза. Вследствие этого при увлажнении ППУ-3Н его температуропроводность понижается.

Сравнивая теплофизические характеристики ППУ-3Н и ПСБ, можно отметить, что коэффициент температуропроводности у ППУ-3Н примерно в 2,5 раза меньше, чем у ПСБ, а их коэффициенты теплопроводности почти одинаковы, следовательно, в условиях переменных тепловых воздействий ППУ-3Н является более предпочтительным утеплителем, чем ПСБ.

Пенопласт ФРП-1 — наиболее влагоемкий из всех исследованных пенопластов. При равных условиях увлажнения его

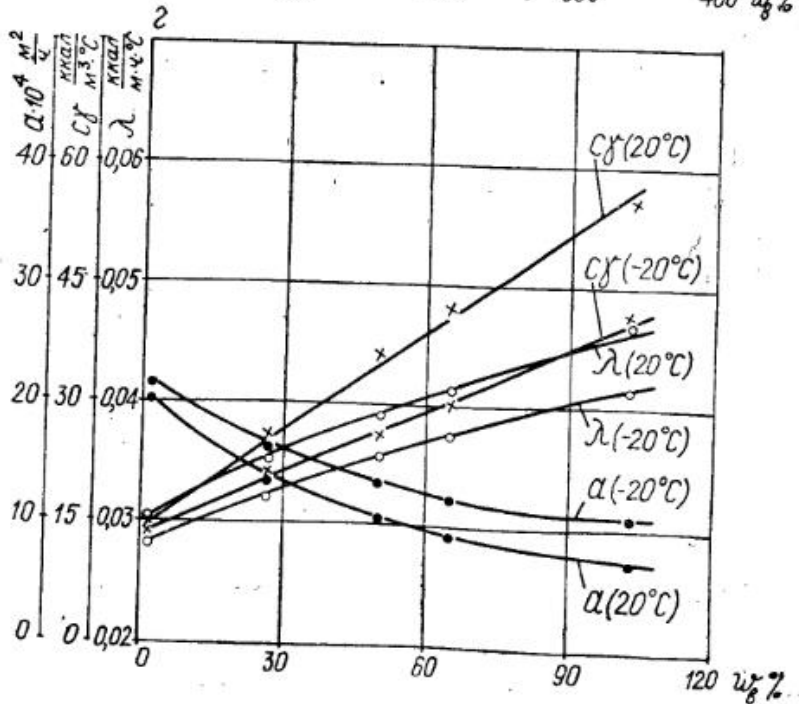
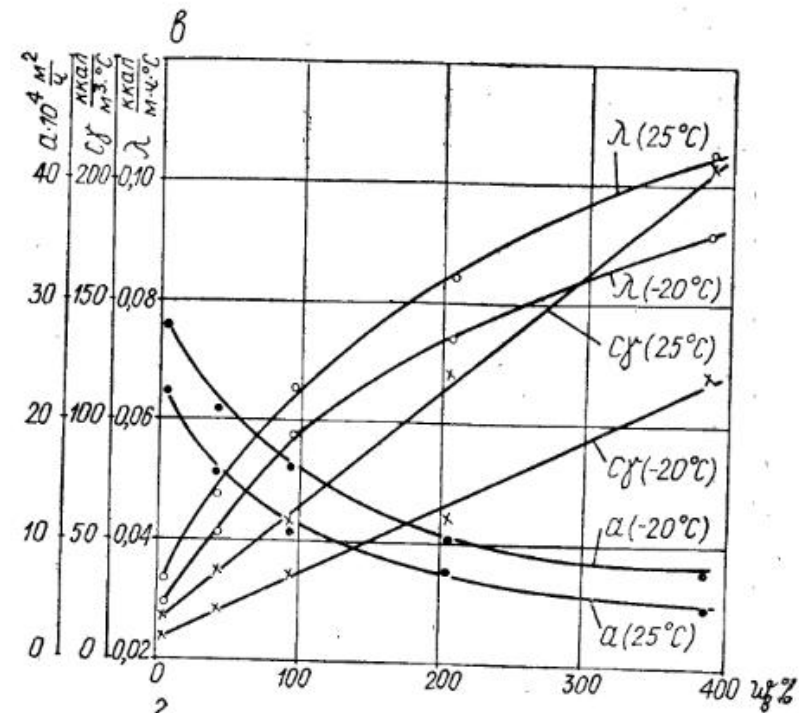
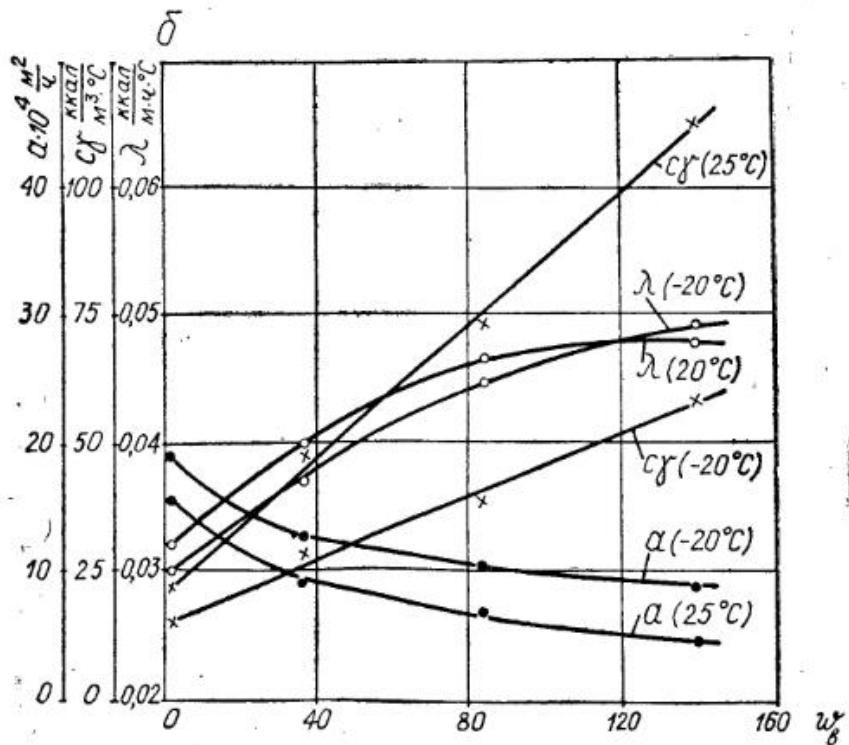
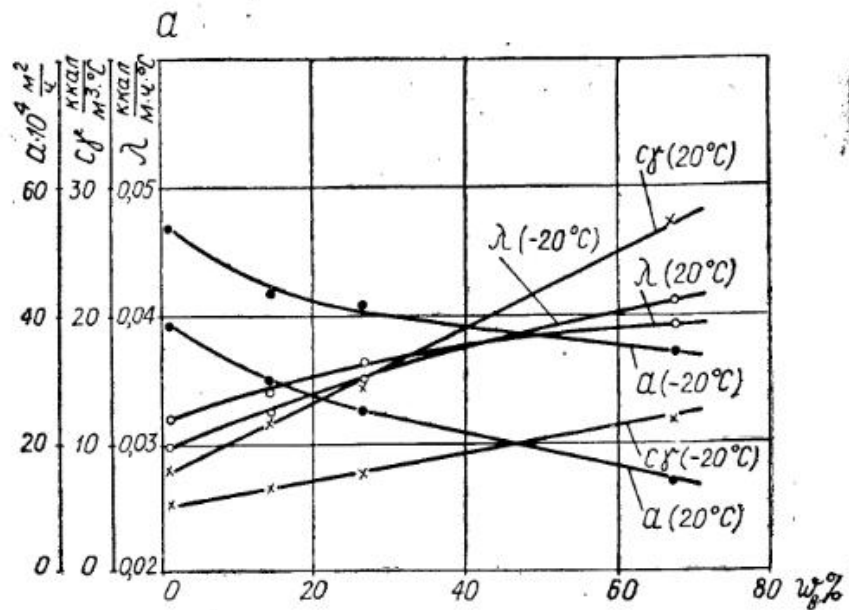
влажность достигла почти 400%, т. е. была значительно больше, чем у всех остальных пенопластов. Это объясняется преобладанием крупных открытых пор в его структуре. С повышением влажности пенопласта ФРП-1 его коэффициент теплопроводности резко возрастает (рис. 27, в). Так, если в сухом состоянии коэффициент теплопроводности ФРП-1 при положительной температуре составляет 0,033 ккал/(м·ч·°C), то при влажности 380% он равен 0,12 ккал/(м·ч·°C), т. е. примерно в 3,5 раза больше. Аналогичное повышение коэффициента теплопроводности при увлажнении наблюдается и при отрицательной температуре, причем во всем исследованном диапазоне влажности он остается ниже, чем при положительной.

Изменение объемной теплоемкости и коэффициента температуропроводности ФРП-1 при его увлажнении происходит так же, как и у предыдущих материалов, только в больших пределах, поскольку диапазон изменения влажности данного пенопласта более широк.

При использовании ФРП-1 в ограждающих конструкциях необходимо предусматривать меры по предохранению его от увлажнения в процессе эксплуатации, так как при этом резко повышается его коэффициент теплопроводности, и следовательно, ухудшаются теплозащитные свойства.

Пенопласт ФПБ отличается от ФРП-1 более равномерной мелкопористой структурой, и это положительно сказывается на его теплофизических свойствах. Максимальная влажность ФПБ, достигнутая в данных экспериментах, составила около 100%, т. е. была в 4 раза меньше, чем у ФРП-1. Изменение теплофизических характеристик ФПБ при его увлажнении более плавное, чем у ФРП-1 (рис. 27, г). С увеличением его влажности до 100% коэффициент теплопроводности при положительной и отрицательной температуре возрастает примерно в 1,5 раза, т. е. почти как у ППУ-3Н. Однако вследствие меньшей плотности пенопласта ФПБ по сравнению с ППУ-3Н его объемная теплоемкость ниже, а коэффициент температуропроводности несколько выше, чем у пенополиуретана.

Плотность ФПБ с кремнефтористой добавкой и ФПБ, вспененного при разрежении, примерно на 20% ниже, чем исходного пенопласта ФПБ. Следовало бы ожидать, что их теплофизические характеристики будут несколько лучше, чем у ФПБ, однако эксперименты показали, что по своим теплофизическим свойствам эти новые материалы уступают исходному (рис. 27, д, е). Прежде всего, почти вдвое повысилось их водопоглощение (при равных условиях увлажнения их влажность достигла 220% по сравнению со 100% у ФПБ). Кроме того, с увлажнением этих материалов резко повышается коэффициент теплопроводности, особенно при положительных температурах. Так, при влажности 220% их коэффициент теплопроводности при $t=20^\circ\text{C}$ примерно в 3 раза больше, чем в сухом состоянии. Коэффициент же тем-



теплопроводности данных материалов существенно выше (на 20—40%), чем у ФПБ. Таким образом, увлажненные пенопласты ФПБ с кремнефтористой добавкой и ФПБ, вспененный при разрезании, по своим теплофизическим свойствам уступают исходному материалу, а в сухом состоянии теплофизические характеристики данных материалов и пенопласта ФПБ близки между собой, следовательно, они могут быть использованы в ограждающих конструкциях только при надежной их защите от увлажнения в процессе эксплуатации.

Теплофизические характеристики пенопластов ФПБ с 5- и 10%-ным содержанием древесного наполнителя, представлены на рис. 27 ж, з. Коэффициент теплопроводности с повышением влажности этих материалов растет довольно интенсивно, особенно у ФПБ с 10%-ным содержанием наполнителя. До влажности 40—70% коэффициент теплопроводности при отрицательной температуре остается ниже, чем при положительной, а затем, при дальнейшем увлажнении, становится выше.

Интересна зависимость объемной теплоемкости этих материалов от влажности. В диапазоне влажности порядка 20—30% наблюдается резкое изменение скорости возрастания объемной теплоемкости. Это обусловлено, по-видимому, особенностями связанной воды, преобладающей в начальном диапазоне влажности. Известно [237], что связанная вода обладает рядом свойств, отличающих ее от воды свободной. При ориентации молекул воды у твердой поверхности происходит их более плотная упаковка, так что плотность связанной воды значительно больше плотности воды свободной, что приводит к появлению сингулярной точки. Тот факт, что объемная теплоемкость при -20°C оказалась выше, чем при 25°C (до влажности 60—70%), объясняется наличием фазового перехода при данной отрицательной температуре.

Коэффициент теплопроводности пенопласта ФПБ с древесным наполнителем при его увлажнении меняется незначительно. По своей же абсолютной величине он более чем в два раза ниже, чем у ненаполненного пенопласта ФПБ, и это является важным преимуществом нового материала.

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований получены более полные данные по коэффициенту теплопроводности известных полимерных теплоизоляционных материалов. Изучены также теплофизические свойства ряда новых пенопластов. Полученные данные использовались в расчетах теплоустойчивости легких ограждений, результаты которых представлены в следующей главе.

Глава 4

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Выше было показано, что в условиях резко континентального климата Центральной Якутии наряду с улучшением теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций вопросы повышения их теплоустойчивости имеют важнейшее значение. Из теории распространения тепловых волн в многослойных ограждениях известно [89, 94, 108], что на величину затухания температурных колебаний в конструкции оказывают влияние многие факторы: условия теплообмена на поверхностях ограждения, теплофизические свойства, толщина и порядок расположения отдельных слоев, частота периодических колебаний. В данной работе поставлена задача путем численных расчетов на ЭВМ М-220М изучить влияние отдельных факторов на теплоустойчивость стеновых ограждающих конструкций жилых зданий 139 серии, получивших широкое распространение в сельских районах Крайнего Севера*.

Основными параметрами, определяющими теплоустойчивость ограждения, как известно являются величина полного «сквозного» затухания амплитуды γ и время запаздывания ϵ температурных колебаний при прохождении через конструкцию. Для определения γ и ϵ в данной работе использована точная формула (3), полученная А. М. Шкловером [89] для многослойных ограждающих конструкций.

За расчетную схему принята конструкция наружной стеновой панели жилого здания 139 серии, испытанной в натуральных условиях на 8-квартирном доме в пос. Табага ЯАССР. Панель имеет внутреннюю обшивку из фанеры ФК ($\delta=8$ мм), наружную — из водостойкой фанеры ФСФ ($\delta=8$ мм) и утеплена легким теплоизоляционным материалом. С внешней стороны панель облицована строганой доской ($\delta=20$ мм). В процессе расчетов материал и толщина обшивок ограждения оставались

* Данная глава выполнена совместно с сотрудниками отдела прикладной математики и вычислительной техники ЯФ СО АН СССР Д. Н. Толстяковым и Г. Г. Поповым.

постоянными, а теплофизические свойства, толщина и порядок расположения утеплителей, а также условия теплообмена на поверхностях конструкции варьировались. Направление тепловой волны принято от наружной поверхности к внутренней. На поверхностях ограждения приняты граничные условия третьего рода; при этом полагается, что температура внутреннего воздуха остается постоянной, а наружного изменяется по гармоническому закону с суточным периодом колебаний.

§ 1. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА НА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГРАЖДЕНИЯ

Для исследования данного вопроса рассчитывалась теплоустойчивость основной схемы ограждения с десятью видами утеплителей, отличающихся по теплофизическим характеристикам, при их толщине $\delta_{ут} = 144$ мм. Данные по теплофизическим свойствам материалов ограждения представлены в табл. 15.

Таблица 15

Теплофизические характеристики материалов (с учетом эксплуатационной влажности)

Слой	Материалы	W% %	γ кг м ³	λ ккал м·ч·°C	c жкал кг·°C	$\alpha \cdot 10^4$ м ² ч
1	2	3	4	5	6	7
Внутренняя обшивка	Фанера ФК	10	660	0,13	0,64	3,1
	Пенопласт ПСБ	2	26	0,036	0,32	43,0
	ФПБ с кремнефтористой добавкой*	5	32	0,037	0,47	24,6
	ФПБ, вспененный при разрежении 0,5 атм.*	5	32	0,034	0,48	22,0
	Пенопласт ФРП-1	5	52	0,042	0,43	18,7
Утеплители	Пенопласт ФПБ*	5	39	0,031	0,45	17,6
	Минераловатные плиты	1	178	0,047	0,19	13,8
	Пенополиуретан ППУ-3Н	1	76	0,036	0,36	13,2
	ФПБ с 5%-ным содержанием древесного наполнителя*	5	144	0,043	0,32	9,4
	ФПБ с 10%-ным содержанием древесного наполнителя*	5	186	0,047	0,33	7,7
	Древесноволокнистая плита	10	220	0,06	0,54	5,0

1	2	3	4	5	6	7
Наружная обшивка	Фанера ФСФ	10	660	0,13	0,64	3,1
	Облицовка	Струганая доска	15	575	0,12	0,65

* По данным экспериментальных исследований автора. Теплофизические характеристики материалов, не отмеченных звездочкой, приняты по СНиП [173].

Для определения влияния величины α_v на теплоустойчивость ограждения его значение варьировали от 0 до 7,5 ккал/(м²·ч·°C), при этом с наружной стороны задавали постоянное значение $\alpha_n = 20$ ккал/(м²·ч·°C). Расчеты показали, что затухание амплитуды температурных колебаний ν находится в сильной зависимости от величины α_v (рис. 28). Так, например, для ограждения с утеплителем из минераловатных плит при увеличении α_v от 0 до 7,5 ккал/(м²·ч·°C) значение ν возросло с 11,5 до 36, т. е. более чем в 3 раза. Аналогичный рост значений ν с увеличением α_v наблюдается и для ограждения с другими видами утеплителей. Время запаздывания температурных колебаний ϵ с увеличением α_v от 0 до 7,5 ккал/(м²·ч·°C) понижается в среднем в 1,5—2 раза (рис. 28), причем кривые $\epsilon = f(\alpha_v)$ располагаются в соответствии с изменением коэффициентов теплопроводности утеплителей, а именно: чем меньше значение $\alpha_{ут}$, тем выше расположена кривая изменения ϵ .

Поскольку существует сильная зависимость ν и ϵ от α_v , то при расчетах теплоустойчивости ограждений выбору величины α_v должно быть уделено особое внимание. По СНиП П-3-79 величину α_v для гладких стеновых поверхностей рекомендуется принимать равной 7,5 ккал/(м²·ч·°C) как для зимних, так и для летних условий. Это нельзя признать правильным, так как в наиболее холодный зимний период температурный перепад «ограждение — воздух» Δt в жилых зданиях достигает 4—6°C, а в летний период, как показали натурные наблюдения, он не превышает 2—3°C, то есть в 2 раза ниже, чем зимой. Поскольку α_v находится в зависимости от величины Δt , то, следовательно, по нормам СНиП значение α_v для расчета летней теплоустойчивости ограждений завышено, а это ведет к завышенным расчетным значениям ν . По данным [177], величину α_v рекомендуется определять по формуле

$$\alpha_v = \alpha_k + \alpha_n, \quad (33)$$

где α_k — коэффициент передачи тепла конвекцией, ккал/(м²·ч·°C), определяемый для вертикальных поверхностей по формуле

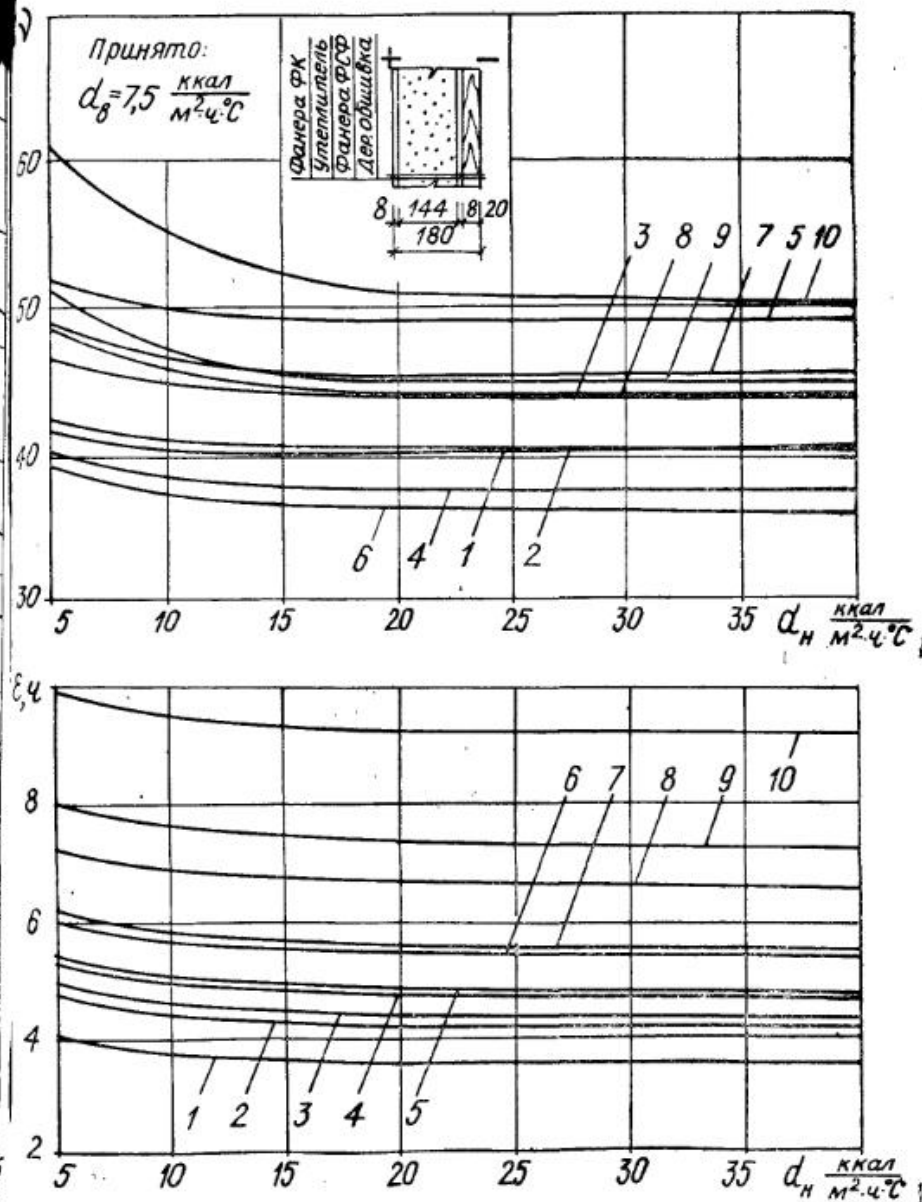
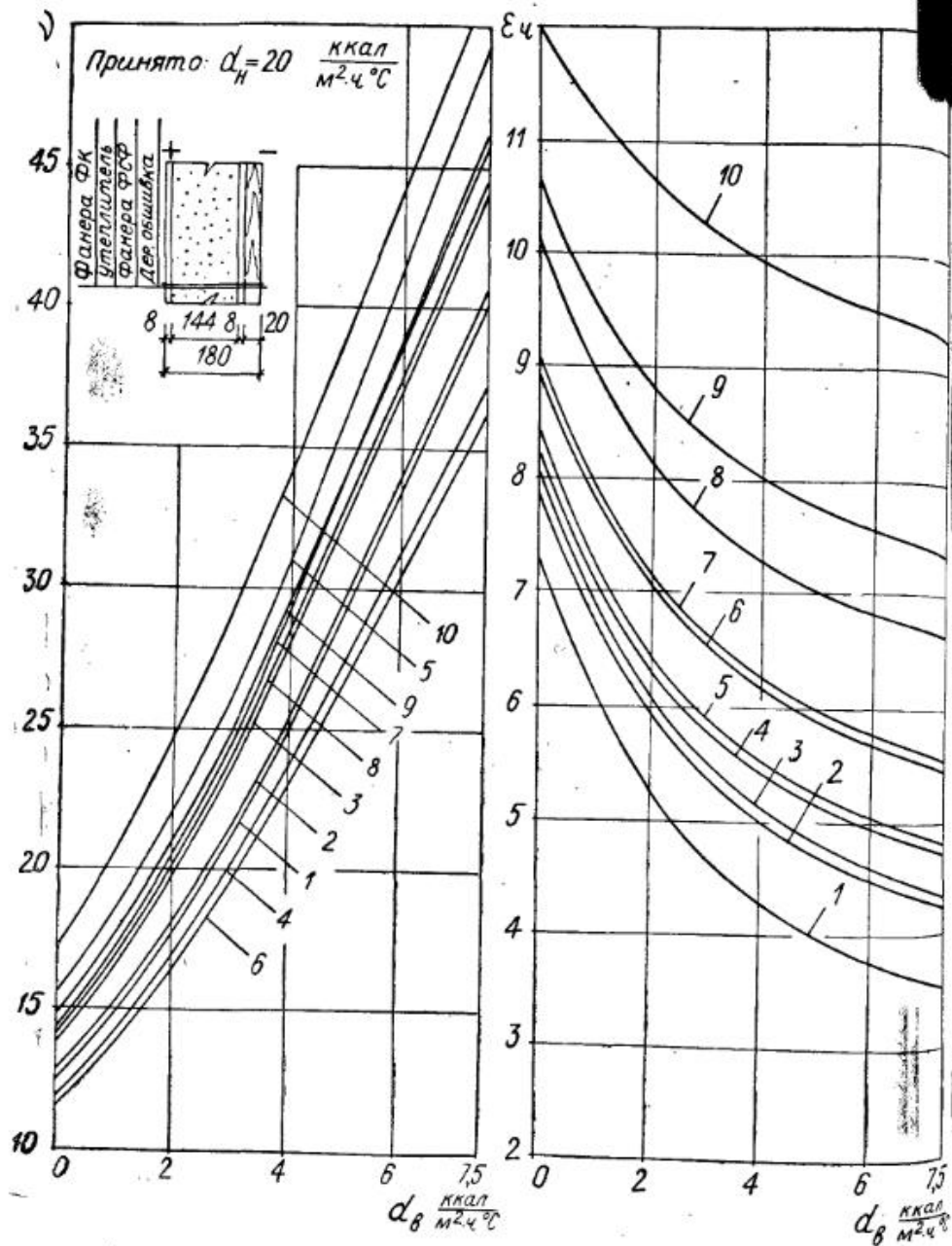


Рис. 28. Зависимость затухания амплитуды ψ и времени запаздывания ϵ температурных колебаний от коэффициента теплообмена на внутренней поверхности ограждения α_8 при различных утеплителях:

1—ПСБ; 2—ФПБ с кремнефтористой добавкой; 3—ФПБ, вспененный при разрезании;
4—ФРП-1; 5—ФПБ; 6—минераловатные плиты; 7—ППУ-3Н; 8—ФПБ с 5%-ным содержанием древесного наполнителя; 9—ФПБ с 10%-ным содержанием древесного наполнителя; 10—ДВП

Рис. 29. Зависимость затухания амплитуды ψ и времени запаздывания ϵ температурных колебаний от коэффициента теплообмена на наружной поверхности ограждения α_H при различных утеплителях. (Условные обозначения утеплителей те же, что и на рис. 28).

$$\alpha_k = 1,5\Delta t^{0,34} \quad (34)$$

α_d — коэффициент передачи тепла излучением, ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$), определяемый по графику рис. 52 [177].

Расчеты показывают, что при $\Delta t = 2 \div 3^\circ\text{C}$ $\alpha_k = 1,5 \div 2$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$) и для летних условий значение α_d составляет 4,5 ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$), а в целом α_b равна $6 \div 6,5$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$).

Данные натурных наблюдений за теплоустойчивостью стеновых ограждающих конструкций 8-квартирного жилого здания 139-й серии, обработанные с учетом «обратной волны» и разложением фактических температурных кривых в гармонический ряд Фурье с выделением суточной гармоник согласно рекомендациям [142, 174], показывают, что наилучшее совпадение фактических значений $\nu^{\text{экс}}$ с расчетными наблюдается при $\alpha_b = 5,8 \div 6,2$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$).

Нормами ОСТ 20-2-74 [174] при расчете летней теплоустойчивости ограждений величину α_b рекомендуется принимать равной 6,5 ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$). Таким образом, исходя из вышеизложенного, в дальнейших расчетах теплоустойчивости легких ограждающих конструкций для летних условий в данной работе принималось $\alpha_b = 6,5$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$).

При изучении влияния величины α_n на теплоустойчивость конструкции значение ее варьировали от 5 до 40 ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$), а на внутренней поверхности в этом случае принималось постоянное значение $\alpha_b = 7,5$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$). Результаты расчетов показали, что при изменении α_n в указанных пределах ν и ϵ изменяются незначительно (рис. 29). Несколько более заметное повышение ν и ϵ наблюдается при $\alpha_n < 15$ ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$), однако эти малые значения α_n не являются характерными для реальных условий эксплуатации стеновых ограждающих конструкций зданий. Нормами теплотехнического расчета [173] значения α_n для наружных стен в летний период рекомендуется определять по формуле

$$\alpha_n = 5 + 10\sqrt{\nu} \quad (35)$$

где ν — средняя скорость ветра в июле, м/с.

Для большинства районов Центральной Якутии средняя скорость ветра в июле 3 м/с [7], тогда α_n равно 22 ккал/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$). Это значение α_n и принято в дальнейших расчетах.

§ 2. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЕЙ НА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Изучение данного вопроса осуществлялось в два этапа. Первоначально рассматривалась теплоустойчивость ограждающей конструкции с применением десяти видов существующих утеплителей, представленных в табл. 15. В результате была получена общая картина изменения теплоустойчивости ограждения в зависимости от теплофизических свойств и толщины теплоизоляционных материалов.

На втором этапе исследований изучалась теплоустойчивость ограждения, теплофизические характеристики утеплителя которого варьировались в определенной последовательности. Эти расчеты позволили более детально изучить влияние отдельных теплофизических параметров материалов на теплоустойчивость конструкций.

В процессе расчетов общая толщина ограждения изменялась в реальных пределах — от 120 до 220 мм, причем толщина обшивок оставалась постоянной, а толщина утеплителя варьировалась.

Результаты расчетов теплоустойчивости ограждения с существующими утеплителями представлены на рис. 30. Из полученных данных видно, что при малой толщине ограждения коэффициент теплопроводности утеплителя оказывает преобладающее влияние: чем ниже $\lambda_{\text{ут}}$, тем выше ν . Так, при начальной толщине конструкции $l = 120$ мм наибольшее затухание $\nu = 25$ наблюдается в ограждении с пенопластом ФПБ, обладающим наименьшей теплопроводностью ($\lambda_{\text{ФПБ}} = 0,031$ ккал/($\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$)), а самое низкое затухание $\nu = 17,5$ — в ограждении с древесноволокнистой плитой (ДВП), имеющей наибольшую теплопроводность ($\lambda_{\text{ДВП}} = 0,06$ ккал/($\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$)). С увеличением толщины ограждения его теплоустойчивость возрастает, однако интенсивность роста ν для конструкции с разными утеплителями различна. Более интенсивный рост ν отмечен при утеплителях с малой теплопроводностью. Например, в ограждении с ДВП, обладающей наименьшей теплопроводностью ($\alpha_{\text{ДВП}} = 5 \cdot 10^{-4}$ м²/ч), при увеличении толщины конструкции от 120 до 220 мм затухание температурных колебаний ν возрастает с 17,5 до 87,0, то есть почти в пять раз, в ограждении же с пенопластом ПСБ, обладающим наибольшей теплопроводностью ($\alpha_{\text{ПСБ}} = 43 \cdot 10^{-4}$ м²/ч), при таком же увеличении толщины конструкции затухание ν возрастает с 22 до 45, то есть только в два раза (рис. 30).

Результаты расчетов показали также, что время запаздывания температурных колебаний ϵ для ограждения с различными утеплителями изменяется в широком диапазоне: от 3—4,2 ч для ограждения с ПСБ до 5,7—11,8 ч — для конструкции с ДВП (рис. 30). При этом кривые $\epsilon = f(l)$ для ограждения с различными утеплителями располагаются в соответствии с изменением их теплопроводности, то есть чем ниже коэффициент теплопроводности утеплителя, тем выше расположена кривая.

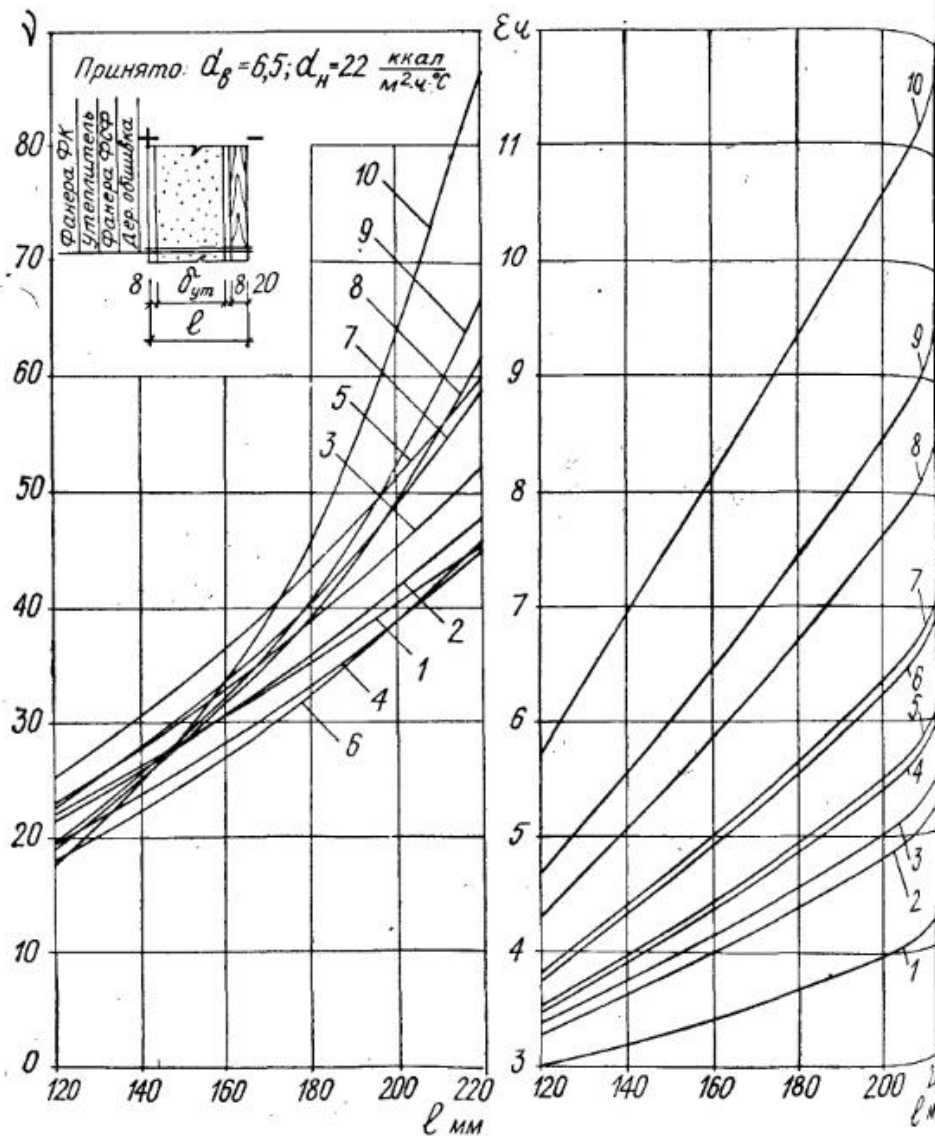


Рис. 30. Зависимость затухания амплитуды γ и времени запаздывания ε температурных колебаний от толщины ограждения l при различных утеплителях. (Условные обозначения утеплителей те же, что и на рис. 28).

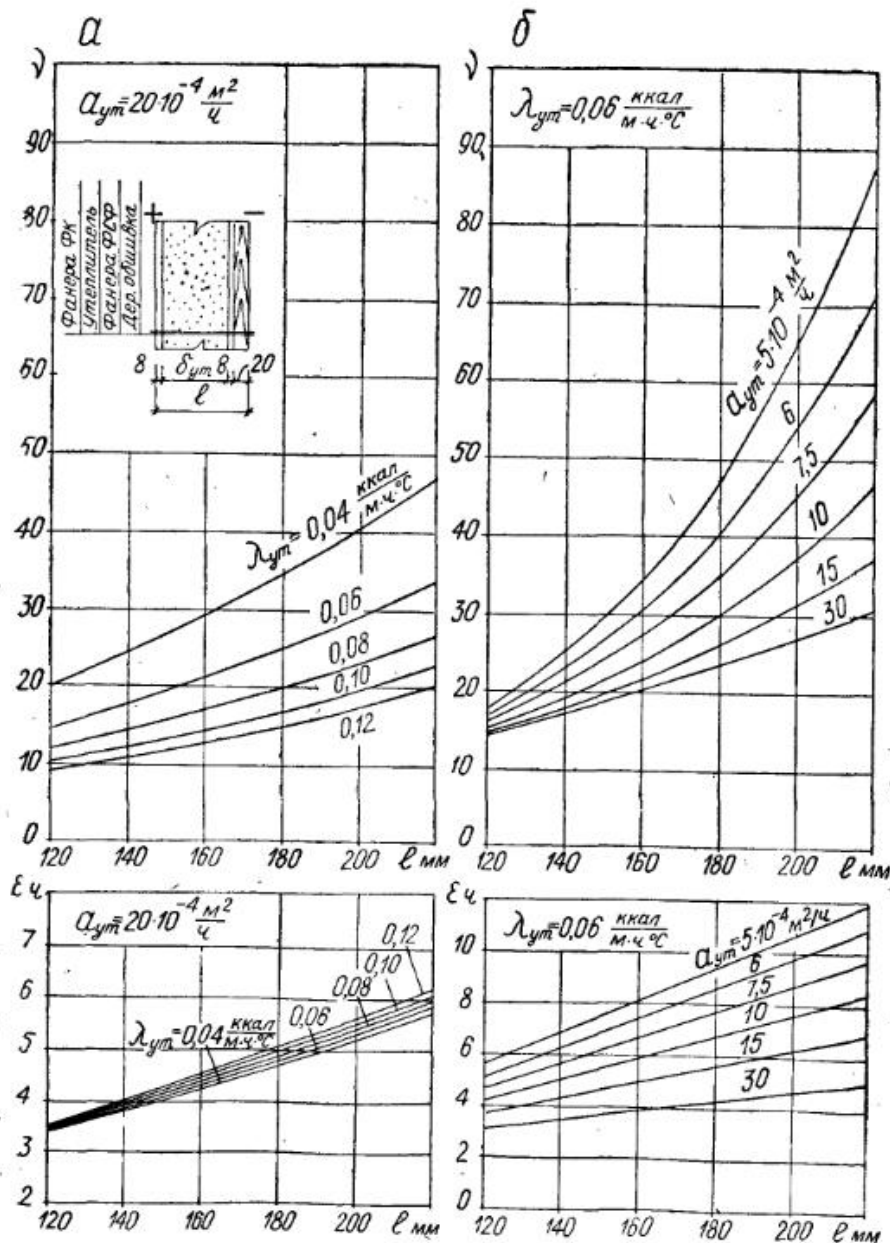


Рис. 31. Зависимость затухания амплитуды γ и времени запаздывания ε температурных колебаний от теплофизических характеристик утеплителя $\lambda_{\text{ут}}$, $\alpha_{\text{ут}}$ и толщины конструкции l : а— $\lambda_{\text{ут}} = \text{var}$, $\alpha_{\text{ут}} = \text{const}$; б— $\lambda_{\text{ут}} = \text{const}$, $\alpha_{\text{ут}} = \text{var}$.

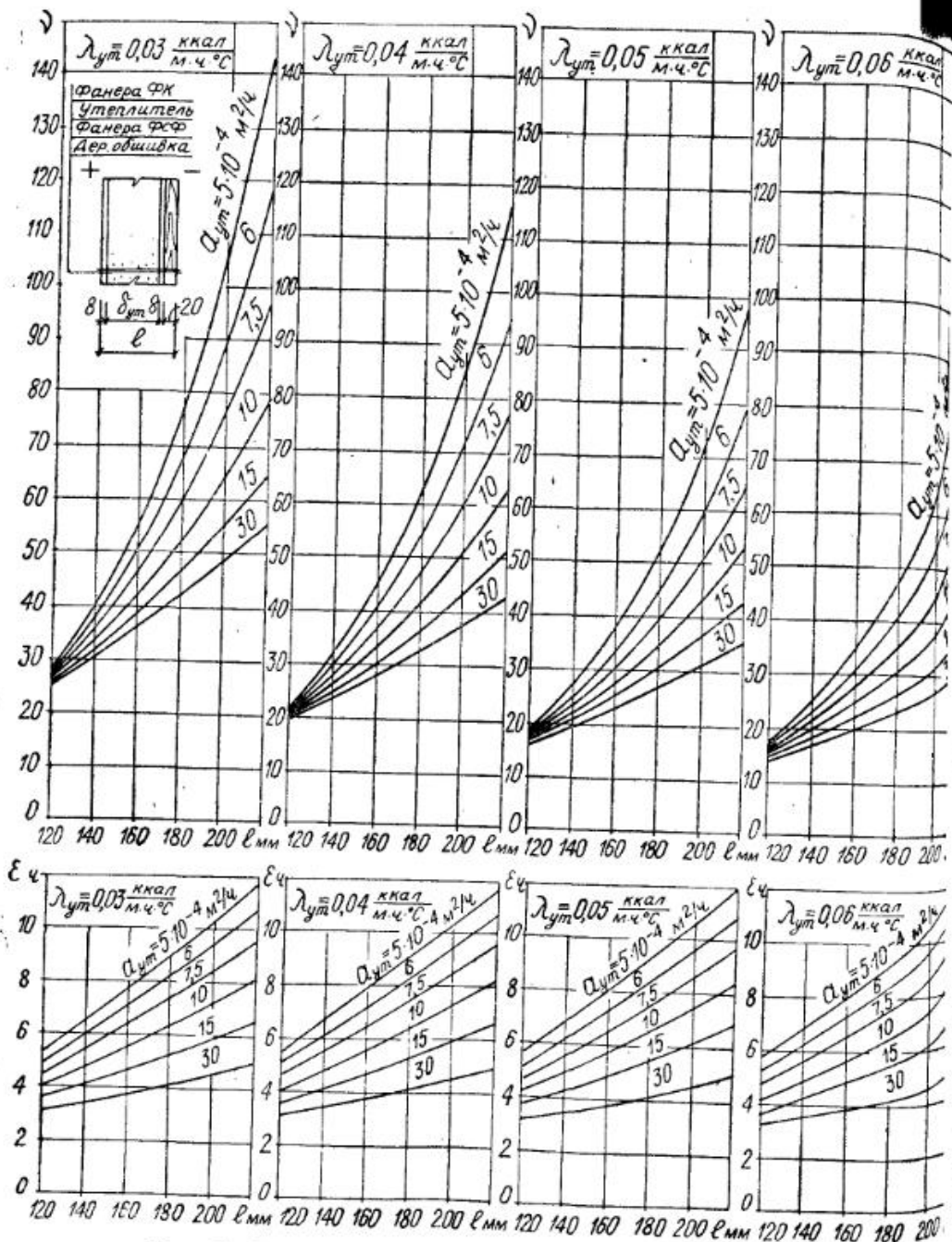


Рис. 32. Зависимость затухания амплитуды γ и времени запаздывания ϵ температурных колебаний от теплофизических характеристик утеплителя $\lambda_{ут}$, $a_{ут}$ и толщины конструкции l .

Для более детального изучения влияния каждого из теплофизических параметров утеплителей ($\lambda_{ут}$ и $a_{ут}$) на теплоустойчивость ограждения расчеты проводились по следующей схеме: один из коэффициентов фиксировался на среднем значении, характерном для легких утеплителей, другой варьировался в диапазоне величин, реальных для этих материалов, затем наоборот. При этом толщина ограждения также изменялась от 120 до 220 мм.

Расчеты показали (рис. 31, а), что при изменении коэффициента теплопроводности утеплителя от 0,12 до 0,04 ккал/(м·ч·°C) и постоянном коэффициенте температуропроводности $a_{ут} = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}$ с увеличением толщины конструкции от 120 до 220 мм затухание амплитуды температурных колебаний γ возрастает примерно в 2—2,5 раза. Более заметное повышение γ наблюдается при малых значениях $\lambda_{ут} \leq 0,06 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$. При изменении же коэффициента температуропроводности утеплителя от $30 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}$ и постоянном значении коэффициента теплопроводности $\lambda_{ут} = 0,06 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$ с увеличением толщины ограждения в тех же пределах затухание амплитуды γ возрастает от 2 до 6 раз, то есть более интенсивно, чем в первом случае (рис. 31, б). Расчеты также показали, что время запаздывания температурных колебаний ϵ слабо зависит от изменений коэффициента теплопроводности утеплителя (рис. 31, а), а определяется в основном его коэффициентом температуропроводности (рис. 31, б).

Аналогичные расчеты были проделаны для принятой схемы ограждения при коэффициенте теплопроводности утеплителя $\lambda_{ут} = 0,05; 0,04; 0,03 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{°C})$ и изменении его коэффициента температуропроводности от 30 до $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}$. Эти расчеты наглядно показали (рис. 32), что с уменьшением коэффициента теплопроводности утеплителя теплоустойчивость ограждения заметно повышается, но при этом сохраняется сильная зависимость γ от $a_{ут}$. Время запаздывания ϵ также находится в сильной зависимости от $a_{ут}$, а при изменении $\lambda_{ут}$ значение ϵ почти не изменяется.

Таким образом, на основе полученных данных можно заключить, что затухание амплитуды температурных колебаний в значительной степени зависит от коэффициентов тепло- и температуропроводности утеплителей, а время запаздывания определяется в основном коэффициентом температуропроводности теплоизоляционного слоя. Для повышения теплоустойчивости ограждения необходимо, чтобы утеплитель обладал не только малым коэффициентом теплопроводности, но и имел низкий коэффициент температуропроводности и, следовательно, при проектировании ограждающих конструкций необходим совместный учет этих параметров.

§ 3. СОВМЕСТНЫЙ УЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛО- И ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ УТЕПЛИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Для совместного учета коэффициентов тепло- и температуропроводности в проектной практике предлагаются расчетные графики (рис. 33—35), построенные по данным численных расчетов, где затухание амплитуды температурных колебаний χ представлено в зависимости от термического сопротивления ограждений R и его тепловой инерции D , а время запаздывания ε — в зависимости от коэффициента теплоусвоения утеплителя $s_{ут}$ и D . Расчетные графики получены для наиболее распространенных конструктивных схем ограждений, применяемых в индустриальном сельском домостроении на Севере, отличающихся между собой видом обшивок. Рассмотрены три конструктивные схемы: трехслойное ограждение с обшивками из фанеры марок ФК и ФСФ (рис. 33), четырехслойное ограждение с фанерными обшивками и внешней облицовкой строганой доской (рис. 34) и трехслойное ограждение с дощатыми обшивками (рис. 35).

С помощью графиков на стадии проектирования здания можно осуществлять подбор теплоизоляционных материалов по их теплофизическим свойствам и определять толщину утеплителя не только из условия обеспечения теплозащиты здания зимой, но и из условия обеспечения его теплоустойчивости летом. При этом утеплители подбираются как по коэффициенту теплопроводности $\lambda_{ут}$, так и по коэффициенту температуропроводности $a_{ут}$.

Предлагается следующий порядок теплотехнического расчета легких ограждений ($D \leq 4$) с использованием расчетных графиков. По формуле (1) [173] определяется требуемое сопротивление теплопередаче $R_{тp}$ и сравнивается с экономически оптимальным $R_{о}$, рассчитанным по существующей методике [173]. Из полученных значений принимается большее. Затем определяется требуемая теплоустойчивость ограждающей конструкции $\nu_{тp}$ исходя из условия обеспечения летней теплоустойчивости помещения, испытывающего наиболее интенсивное воздействие внешней среды (угловые комнаты верхнего этажа ЮВ — ЮЗ ориентаций). Если наружные стеновые панели и панели перекрытий имеют аналогичное конструктивное решение, то среднее для данного помещения значение $\nu_{тp}$ можно определить из выражения, рекомендованного [177] для расчета колебаний температуры воздуха в помещении в летнее время, по формуле

$$\nu_{тp} \geq \frac{0,7 a_{в} \Sigma A_{тн}^{расч} \cdot F_{н}}{A_{тв}^{н} \Sigma B \cdot F_{в}}, \quad (36)$$

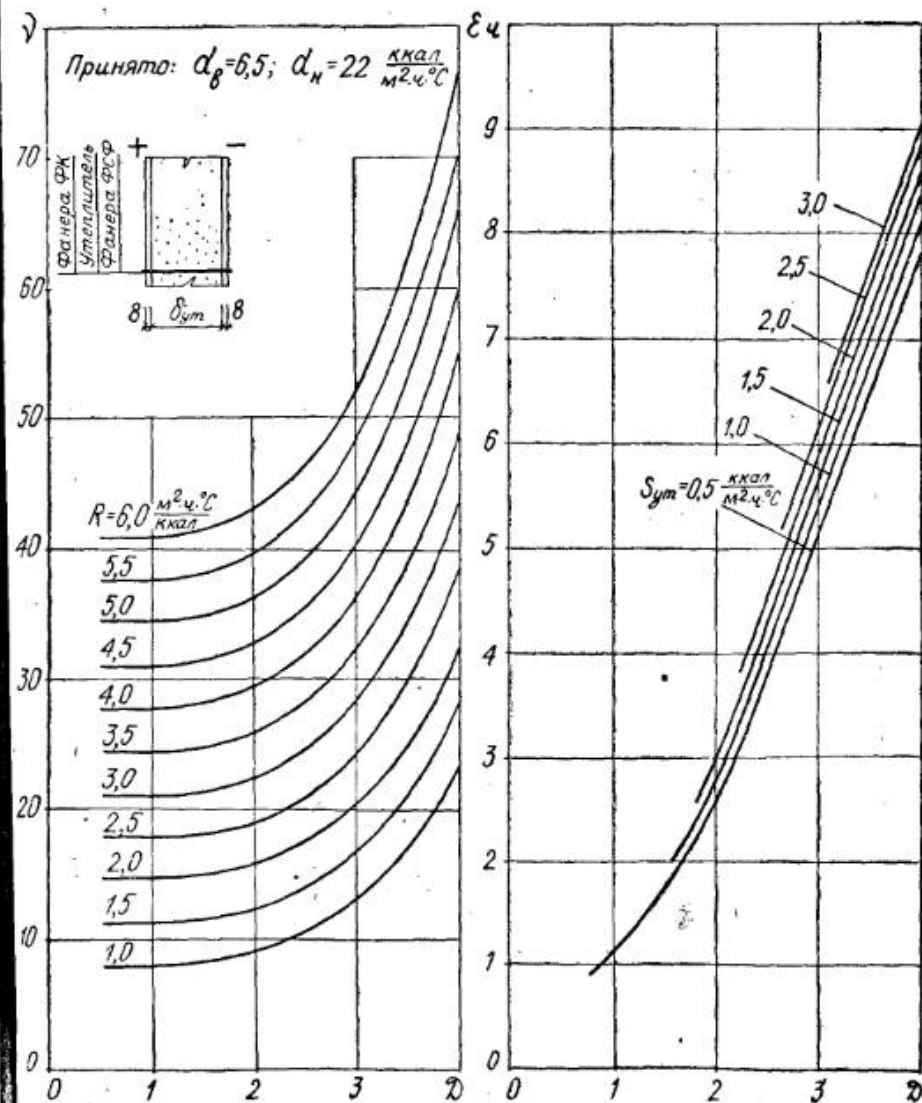


Рис. 33. Зависимость затухания амплитуды χ и времени запаздывания ε температурных колебаний от показателя тепловой инерции D , термического сопротивления конструкции R и коэффициента теплоусвоения утеплителя $s_{ут}$ для ограждения с фанерными обшивками.

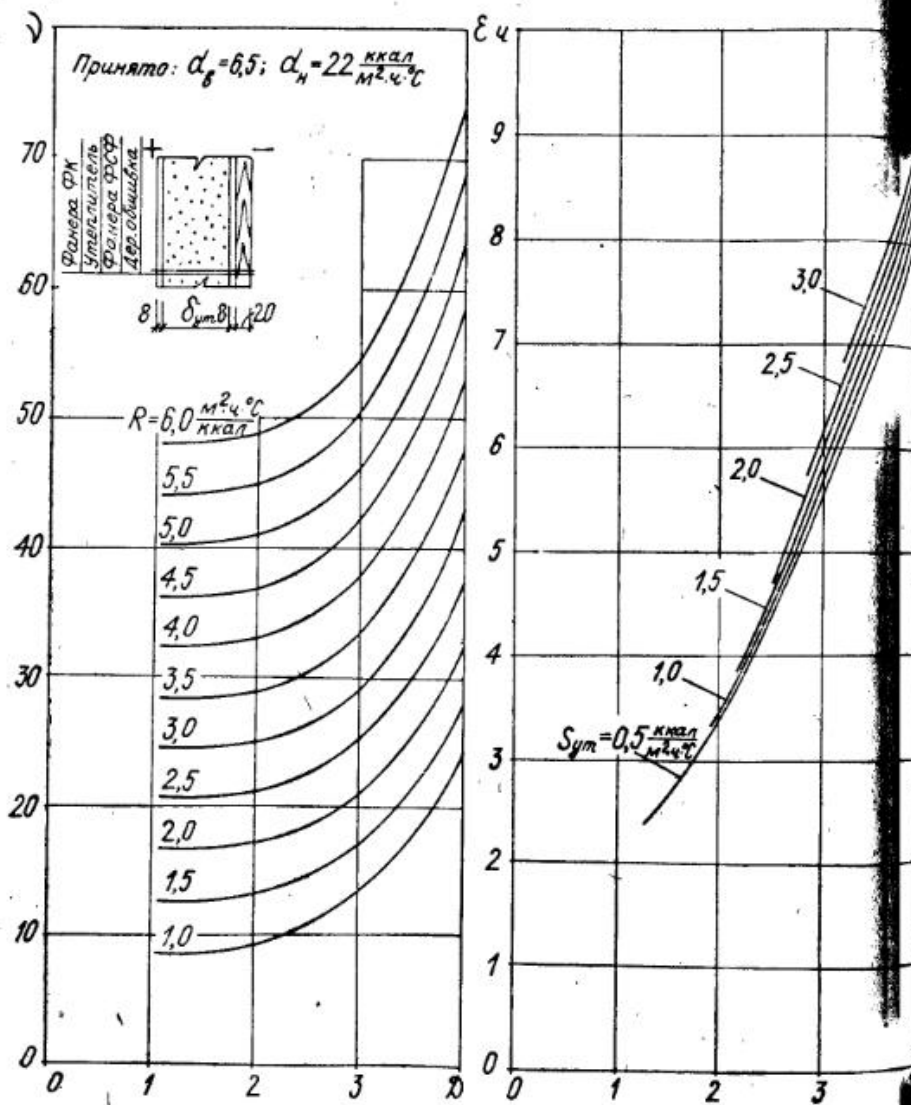


Рис. 34. Зависимости $v=f(R, D)$ и $\epsilon=f(s_{\text{ym}}, D)$ для ограждения с фанерными обшивками и облицовкой строганой доской

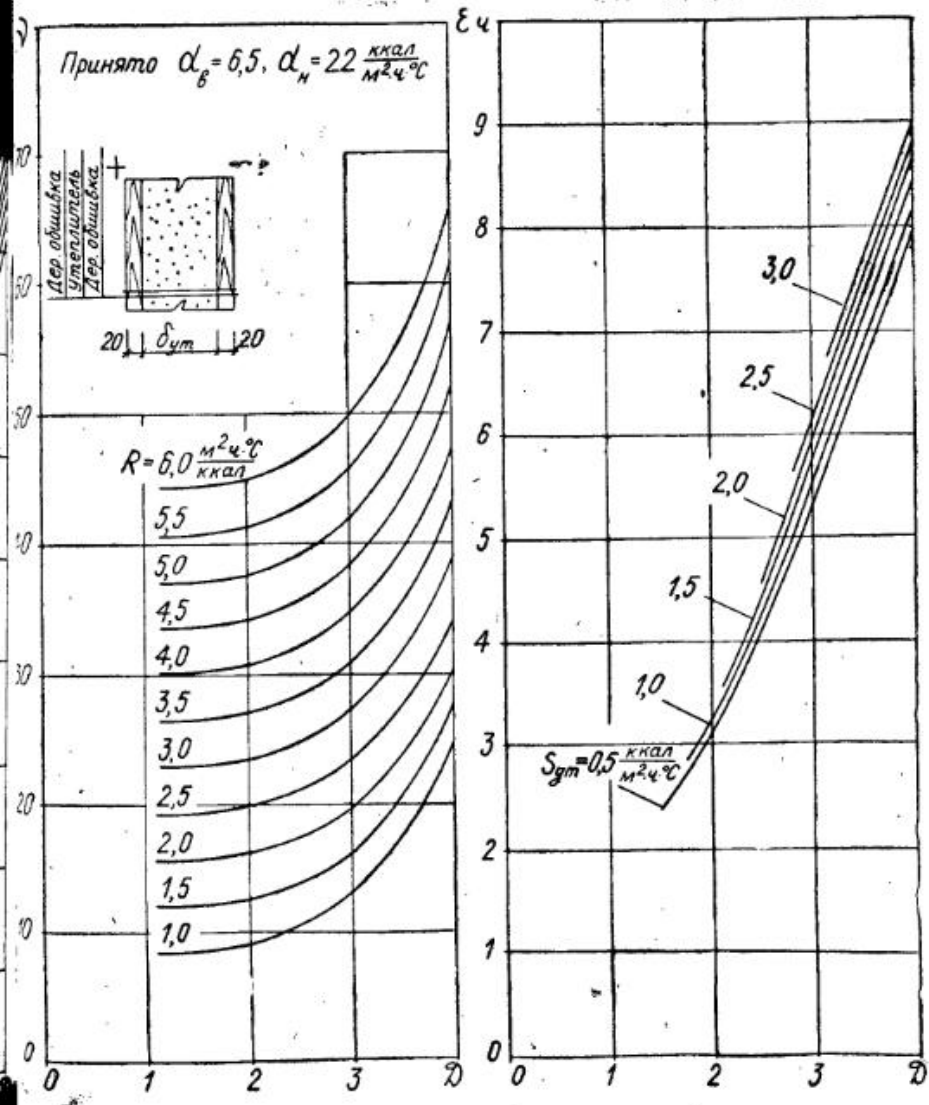


Рис. 35. Зависимости $v=f(R, D)$ и $\epsilon=f(s_{\text{ym}}, D)$ для ограждения с досчатыми обшивками

где 0,7 — коэффициент, учитывающий несовпадение во времени максимумов температуры на внутренних поверхностях ограждений различной ориентации [177];

$A_{тн}^{расч}$ — расчетная амплитуда колебаний условной наружной температуры для каждого ограждения, определяемая в соответствии с его ориентацией и учетом солнечного облучения по формуле (20) [173];

$A_{тв}^{н}$ — допустимая амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха, принимаемая не более $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ [173];

$\Sigma B \cdot F_{в}$ — суммарное теплопоглощение внутренними поверхностями ограждений помещения, определяемое в соответствии с рекомендациями [177].

Далее, в зависимости от практической необходимости могут решаться задачи двух типов.

I. Известно $R_{о}^{тр}$, $\nu^{тр}$ и задан определенный утеплитель теплофизическими параметрами $\lambda_{ут}$ и $a_{ут}$. Необходимо определить толщину утеплителя $\delta_{ут}$, при которой ограждение удовлетворяет как условиям обеспечения зимней теплозащиты, так и летней теплоустойчивости помещения.

Из условия обеспечения зимней теплозащиты толщина утеплителя определяется по формуле

$$\delta_{ут} = (R_{о}^{тр} - \Sigma R_{общ} - R_{в} - R_{н}) \lambda_{ут} \text{ м.} \quad (37)$$

Далее по соответствующему графику находится требуемая характеристика тепловой инерции ограждения $D^{тр}$ по известным $\nu^{тр}$ и $R = R_{о}^{тр} - R_{в} - R_{н}$. Затем, определяется толщина утеплителя из условия обеспечения летней теплоустойчивости помещения по формуле

$$\delta_{ут} = R_{ут} \lambda_{ут} = \frac{R_{ут} s_{ут} \lambda_{ут}}{s_{ут}} = \frac{D_{ут} \lambda_{ут}}{0,51 \sqrt{\lambda_{ут} c_{ут} \gamma_{ут}}} = 1,96 D_{ут} \sqrt{a_{ут}} \text{ м,} \quad (38)$$

где $D_{ут} = D^{тр} - \Sigma D_{общ}$ — величина требуемой характеристики тепловой инерции утеплителя.

Из двух полученных значений $\delta_{ут}$ принимается большее.

II. Известно также $R_{о}^{тр}$ и $\nu^{тр}$ и по конструктивным соображениям задана толщина утеплителя $\delta_{ут}$. Требуется подобрать такой утеплитель, чтобы при заданной толщине он по своим теплофизическим параметрам удовлетворял условиям обеспечения как зимней теплозащиты, так и летней теплоустойчивости помещения.

Коэффициент теплопроводности утеплителя определится из условия обеспечения зимней теплозащиты помещения по формуле

$$\lambda_{ут} \leq \frac{\delta_{ут}}{R_{ут}} = \frac{\delta_{ут}}{R_{о}^{тр} - \Sigma R_{общ} - R_{в} - R_{н}} \text{ ккал / (м. ч. } ^{\circ}\text{C)}. \quad (39)$$

Затем по соответствующему графику по известным $\nu^{тр}$ и $R = R_{о}^{тр} - R_{в} - R_{н}$ находится $D^{тр}$ и $D_{ут} = D^{тр} - \Sigma D_{общ}$.

Коэффициент температуропроводности утеплителя определится из условия обеспечения летней теплоустойчивости помещения по формуле

$$a_{ут} \leq 0,26 \left(\frac{\delta_{ут}}{D_{ут}} \right)^2 \text{ м}^2/\text{ч.} \quad (40)$$

По найденным значениям $\lambda_{ут}$ и $a_{ут}$ подбирается соответствующий теплоизоляционный материал.

С помощью предлагаемых графиков можно также непосредственно определять затухание амплитуды ν и сдвиг во времени ϵ тепловых волн, если геометрические параметры конструкции и теплофизические свойства составляющих ее материалов известны.

Таким образом, совместный учет коэффициентов тепло- и температуропроводности утеплителей при теплотехническом расчете и проектировании легких ограждающих конструкций позволит обеспечить как теплозащиту здания в наиболее холодный зимний период, так и его теплоустойчивость в условиях летнего перегрева, что в целом приведет к экономии тепловой энергии на отопление зданий и улучшению условий проживания в них людей.

Выше рассмотрено влияние различных факторов на теплоустойчивость ограждения, в котором слой теплоизоляции выполнен из одного материала. Однако, как показали исследования, теплоустойчивость конструкции может быть значительно повышена при сочетании утеплителей с различными теплофизическими свойствами.

§ 4. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СОЧЕТАНИИ УТЕПЛИТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Цель данных численных исследований — выявить сочетания утеплителей по их теплофизическим свойствам, соотношению толщин и порядку расположения в конструкции, обеспечивающие наибольшую теплоустойчивость ограждения. Расчетная схема представлена на рис. 36. В процессе расчетов материал и толщина обшивок, а также общая толщина конструкции не изменялись. Варьировались сочетания утеплителей при заданных значениях влажности, соотношения их по толщине и порядок расположения в конструкции. В качестве утеплителей приняты семь различных материалов, теплофизические характеристики которых представлены в табл. 16.

Рассмотрено шесть сочетаний утеплителей: в первых трех — материал с малым коэффициентом температуропроводности

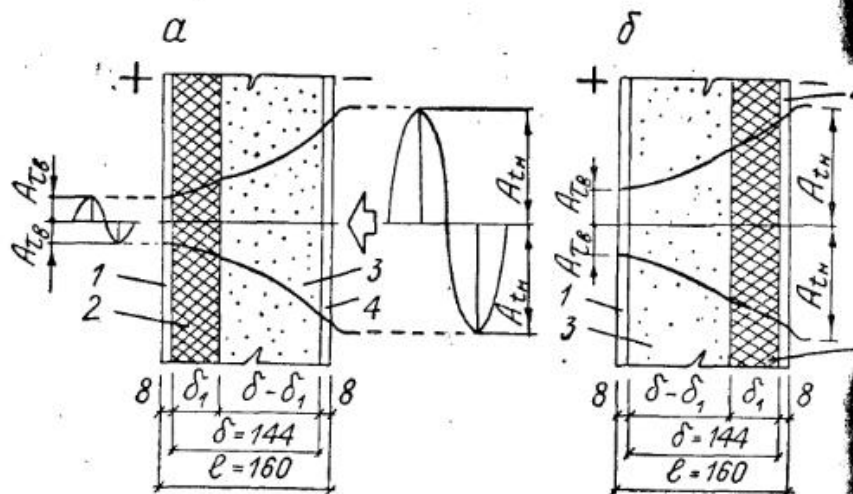


Рис. 36. Расчетная схема ограждающей конструкции с разным сочетанием утеплителей: 1—фанера ФК; 2—утеплитель с низкой температуропроводностью; 3—утеплитель с низкой теплопроводностью; 4—фанера ФСФ; а—первое расположение утеплителей; б—второе (обратное) расположение утеплителей

Таблица 1
Теплофизические характеристики утеплителей

Утеплитель	w_B %	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\lambda \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$	$c \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$a \cdot 10^4 \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}$
ФПБ	5	39	0,031	0,45	17,6
ППУ-3Н	1	76	0,036	0,36	13,2
ПХВ-1	2	128	0,05	0,31	12,8
Древесноволокнистые плиты	10	220	0,06	0,54	5,0
Фибролит	10	330	0,10	0,54	5,6
Арболит	10	550	0,12	0,54	4,0
Древесностружечные плиты	10	660	0,11	0,54	3,1

Примечание. Теплофизические характеристики пенопласта ФП приняты по данным автора, остальных материалов — по СНиП [173].

(ДВП) сочетается с одним из трех пенопластов, коэффициент теплопроводности которых последовательно уменьшается; в трех последующих — материал с низким коэффициентом теплопроводности (ФПБ) сочетается с одним из трех утеплителей на

основе древесины, коэффициент температуропроводности которых также последовательно уменьшается. Отношение толщины материалов с малой температуропроводностью δ_1 к полной толщине слоя теплоизоляции δ изменяется от 0 до 1. Расчеты проведены для двух случаев: утеплители с малым коэффициентом температуропроводности расположены с внутренней стороны ограждения, а материалы с низким коэффициентом теплопроводности — с наружной (первое расположение — рис. 36, а) и наоборот (второе расположение — рис. 36, б). Как и ранее, направление тепловой волны принято от наружной поверхности к внутренней.

Выполненные расчеты позволили выявить интересный эф-

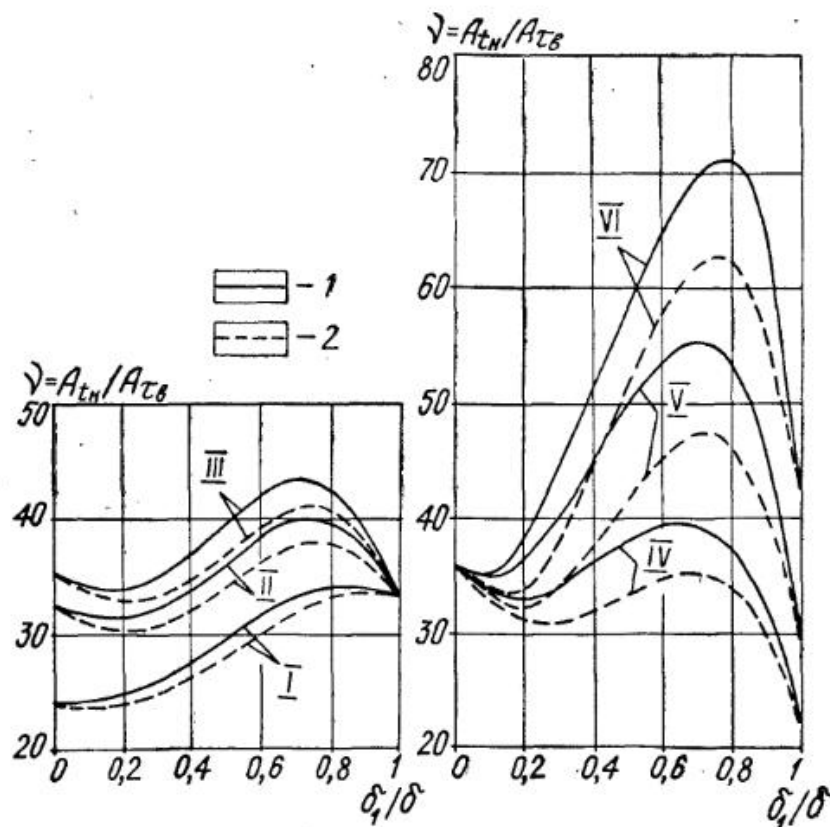


Рис. 37. Эффект повышения теплоустойчивости ограждающей конструкции при сочетании различных утеплителей: 1—первое расположение утеплителей (см. рис. 36); 2—второе (обратное) расположение утеплителей: I—ПХВ-1 и ДВП; II—ППУ-3Н и ДВП; III—ФПБ и ДВП; IV—ФПБ и фибролит; V—ФПБ и арболит; VI—ФПБ и ДСП

Сравнительные характеристики ограждающих конструкций

Схема	Слой	Масса 1 м ² , кг	Стоимость ма- териалов, зат- раченных на 1 м ² конструи- ции, руб.	R_0 $\frac{м^2 \cdot ч \cdot ^\circ C}{ккал}$	D	ν
	1—фанера ФСФ 2—арболит 3—фанера ФК	130	10,56	1,81	5,02	54,8
	1—фанера ФСФ 2—пено- пласт ФПБ 3—арболит 4—фанера ФК	92	10,23	2,28	3,87	57,4

факт повышения теплоустойчивости ограждения при сочетании утеплителей с различными теплофизическими свойствами (рис. 37). При определенном соотношении толщин и теплофизических характеристик сочетающихся материалов теплоустойчивость ограждения становится существенно выше, чем в случае полного заполнения конструкции каждым из этих утеплителей в отдельности. Так, например, если в конструкции, полностью заполненной древесноволокнистыми плитами, затухание амплитуды температурных колебаний ν составляет 33,5, а при полном заполнении пенопластом ФПБ—35, то при сочетании этих материалов и соотношении толщины первого материала к общей толщине теплоизоляции $\delta_1/\delta=0,7$ затухание ν достигает 44, то есть теплоустойчивость ограждения возрастает примерно на 25% (сочетание III, рис. 37). Расчеты показывают, что чем больше различие в теплофизических характеристиках сочетающихся материалов, тем ярче проявляется отмеченный эффект. С понижением коэффициента теплопроводности пенопластов, сочетающихся с ДВП, от 0,05 до 0,031 ккал/(м·ч·°C) эффект повышения теплоустойчивости возрастает, достигая 20÷25% (сочетания I—III, рис. 37). Еще более резкий рост теплоустойчивости конструкции наблюдается при понижении коэффициента температуропроводности материалов, сочетающихся с ФПБ (сочетания IV—VI, рис. 37). Так, например, при сочетании арболита ($a_{\text{Арб}}=4,0 \cdot 10^{-4}$ м²/ч) с ФПБ максимальное затухание температурных колебаний ν_{max} достигает 55,5, а при сочетании древесностружечных плит ($a_{\text{ДСП}}=3,1 \cdot 10^{-4}$ м²/ч) с ФПБ $\nu_{\text{max}}=72$, т. е. теплоустойчивость ограждения при данных сочетаниях повышается соответственно на 59 и 80%.

Результаты расчетов показывают, что существует вполне определенное соотношение толщин сочетающихся материалов, при котором достигается наибольшая теплоустойчивость конструкции. Для рассмотренных сочетаний оптимально соотношение толщин $\delta_1/\delta=0,6 \div 0,8$. Соотношение же $\delta_1/\delta=0,1 \div 0,3$ является наихудшим, так как в этом случае теплоустойчивость конструкции минимальная.

Порядок расположения материалов также оказывает влияние на теплоустойчивость ограждения. При первом расположении утеплителей, то есть когда более плотный материал с малым коэффициентом температуропроводности находится с внутренней стороны конструкции, а более легкий утеплитель с низким коэффициентом теплопроводности — с наружной, эффект повышения теплоустойчивости ограждения выражен в большей степени (сплошные линии на рис. 37), чем при обратном их расположении (пунктирные линии). Следует, однако, отметить, что порядок расположения материалов оказывает сравнительно меньшее влияние на теплоустойчивость ограждения, чем соотношение теплофизических параметров и геометрических размеров сочетающихся утеплителей.

Таким образом, по результатам проведенных численных исследований можно заключить, что сочетания утеплителей с различными теплофизическими свойствами являются эффективным средством повышения теплоустойчивости легких ограждающих конструкций. При правильном подборе материалов по теплофизическим характеристикам, оптимальном соотношении их по толщине и рациональном расположении в конструкции теплоустойчивость ограждения может быть повышена на 80% и более.

Использование отмеченного эффекта во многих случаях позволит не только повысить теплоустойчивость ограждений, но и улучшить их теплозащитные качества, а также добиться уменьшения толщины конструкции, снижения ее массы и стоимости. В качестве иллюстрации в табл. 17 представлены сравнительные характеристики ограждения с одним утеплителем из арболита (стоимость арболита · 36,99 руб/м³ [238]) и ограждения с сочетанием двух утеплителей: арболита и пенопласта ФПБ (стоимость ФПБ · 63,00 руб/м³ [239]), при этом соотношение толщин слоев и порядок их расположения приняты в соответствии с вышеприведенными рекомендациями, а общая толщина ограждения снижена на 18%.

Данные табл. 17 наглядно показывают, что ограждение с сочетанием утеплителей, обладающее значительно меньшей характеристикой тепловой инерции D и имеющее меньшую толщину, по теплозащитной способности на 26%, по теплоустойчивости на 5% выше, по удельному весу на 41% легче, а по стои-

мости материалов на 3% дешевле ограждения с одним утеплителем.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно заключить, что сочетание утеплителей с различными теплофизическими свойствами является эффективным средством повышения теплоустойчивости легких ограждающих конструкций и их теплозащитной способности. Повышение теплозащиты и теплоустойчивости ограждений ведет к улучшению теплового комфорта зданий и к экономии тепловой энергии при их эксплуатации.

Глава 5

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЛЕГКИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ В РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

§ 1. ВЫБОР ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В настоящее время как в нашей стране, так и за рубежом уделяется особое внимание вопросам экономии энергии. Предусматриваются различные мероприятия, направленные на сокращение тепловых потерь зданий и сооружений и снижение эксплуатационных расходов на их отопление. Проблеме экономической оптимизации теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций зданий посвящены труды Л. К. Юргенсона [240], Л. Д. Богуславского [241], И. С. Шаповалова, С. И. Беляновского [242], Л. Ф. Янкелева [243] и других советских ученых. Действующими нормами [173] установлен обязательный расчет экономически целесообразного сопротивления теплопередаче ограждений. В США [244, 245], Канаде [246], ФРГ [247], Франции [248] и других странах неуклонно повышаются требования к уровню теплозащиты проектируемых объектов, а также разрабатываются различные способы улучшения теплоизоляции уже существующих зданий с целью экономии энергии. Вопросы повышения теплозащиты зданий особенно остро стоят в районах Крайнего Севера нашей страны и, в частности, в районах Центральной Якутии, характеризующихся экстремально холодной и продолжительной зимой. Поэтому для этих районов особенно важно установить экономически оптимальное сопротивление теплопередаче (R_0^{opt}) легких ограждающих конструкций жилых зданий, при котором будет достигнут минимум приведенных затрат на их изготовление и эксплуатацию здания.

Поскольку величина R_0^{opt} в значительной степени зависит от района строительства и его природно-климатических условий, транспортной схемы доставки и стоимости топлива, а также от конструктивно-планировочного решения здания, то технико-экономический анализ целесообразно проводить для определенных районов и применительно к конкретному объекту. Выделим четыре района Центральной Якутии, отличающиеся транспортными схемами доставки топлива, удаленностью от

Таблица

Расчетные климатические характеристики
районов Центральной Якутии

Район, пункт	Средняя температура, °С			Продолжительность отопительного периода, сутки
	наиболее холодных суток	наиболее холодной пятидневки	отопительного периода	
Якутский, пос. Марха	-58	-55	-19,5	254
Жиганский, пос. Жиганск	-56	-51	-15,2	276
Вилюйский, г. Вилюйск	-56	-52	-17,7	260
Усть-Майский, пос. Усть-Мая	-56	-54	-18,8	254

баз стройиндустрии и расчетными климатическими характеристиками (табл. 18).

В качестве объекта для проведения технико-экономического анализа примем 12-квартирный жилой дом из клефанерных панелей серии 139 (типовой проект 111-139-9 м/75), разработанный ЦНИИЭПграждансельстроем для районов Крайнего Севера. Ограждающие конструкции здания — трехслойные панели, состоящие из деревянного каркаса, наружной обшивки из водостойкой фанеры ФСФ ($\delta=8$ мм), внутренней обшивки из строительной фанеры ФК ($\delta=8$ мм) и эффективного утеплителя. В качестве утеплителя панелей наибольшее применение получили полужесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем и фенолформальдегидный пенопласт ФРП-1. Данные по коэффициенту теплопроводности [173] и стоимости [239, 249] утеплителей приведены в табл. 19.

Таблица 19

Теплопроводность и стоимость утеплителей

Утеплитель	Коэффициент теплопроводности λ , $\frac{\text{ккал}}{\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С}}$	Стоимость 1 м ³ утеплителя по районам, руб.			
		Якутский, пос. Марха	Жиганский, пос. Жиганск	Вилюйский, г. Вилюйск	Усть-Майский, пос. Усть-Мая
Плиты минераловатные ($\gamma=100\div 125$ кг/м ³)	0,05	60,00	73,80	72,60	69,60
Пенопласт ФРП-1 ($\gamma=50$ кг/м ³)	0,042	63,00	77,49	76,23	73,08

Одним из главных составляющих при определении $R_0^{\text{опт}}$ ограждений являются эксплуатационные расходы на отопление здания, которые находятся в прямой зависимости от стоимости тепловой энергии и величины теплопотерь здания за отопительный период. Наиболее распространенным и сравнительно недорогим видом топлива в районах Центральной Якутии является каменный уголь Кангаласского, Сангарского, Джебарики-Хайского, Кировского и других месторождений. Однако наряду с каменным углем во многих сельских районах республики для отопления жилых зданий часто используются дрова. Этот вид топлива применяется преимущественно в районах с богатыми лесными ресурсами. Кроме того, в некоторых отдаленных районах для отопления зданий нередко используется дизельное топливо. Природный газ для теплоснабжения сельских населенных мест в районах Центральной Якутии пока еще не получил широкого распространения, поэтому в данной работе этот вид топлива не рассматривается.

Стоимость принятых к рассмотрению видов топлива с учетом транспортных расходов по его доставке для выделенных районов Центральной Якутии [250, 251] приведена в табл. 20. В этой же таблице представлены данные по удельной стоимости условного топлива ($Q_{\text{н. усл. т.}}^{\text{р}}=7000$ ккал/кг), полученные применением тепловых эквивалентов ($\mathcal{E}_\tau = Q_{\text{н. усл. т.}}^{\text{р}}/Q_{\text{н. усл. т.}}^{\text{д}}$) и пересчетом дров из объемных единиц в единицы массы (1 т = 2,27 м³), а также данные по удельной стоимости тепловой энергии, определенные исходя из расчетных теплопотерь здания за отопительный период и годового расхода топлива, необходимо для их компенсации.

Сравнение данных табл. 20 с литературными [177, 241], приведенными для центральной полосы нашей страны, показывает, что только в Якутском районе при использовании наиболее дешевого каменного угля Кангаласского месторождения удельная стоимость топлива приблизительно такая же, как и в центральных областях страны (15–20 руб/т усл. т.). В остальных же районах Центральной Якутии при применении каменного угля Сангарского, Джебарики-Хайского и Кировского месторождений удельная стоимость топлива в 2–2,5 раза выше средней по стране, что обусловлено более высокой отпускной стоимостью углей и значительным их удорожанием при транспортировании. Во всех рассматриваемых районах республики при отоплении зданий дровами удельная стоимость топлива и тепловой энергии в 3–4 раза, а при дизельном топливе в 5–7 раз выше, чем в центральных районах страны. Отсюда ясно, что при такой высокой стоимости топлива вопросы повышения теплозащиты зданий и экономии тепловой энергии в районах Центральной Якутии имеют особое значение.

В данной работе расчет экономически целесообразного со-

Стоимость топлива и тепловой энергии в районах Центральной Якутии

Район, пункт	Каменный уголь			Дрова			Дизельное		
	руб./т	руб./т усл. т.	руб./Гкал	руб./м ³	руб./т усл. т.	руб./Гкал	руб./т	руб./т усл. т.	руб./Гкал
Якутский, пос. Марха	10,57 (3500)	21,14	6,38	12,14 (2700)	71,45	20,39	140,92 (9200)	107,22	30,69
Жиганский, пос. Жиганск	44,35 (6450)	48,13	13,74	14,93 (2700)	87,79	25,04	181,00 (9200)	137,56	39,34
Вилюйский, г. Вилюйск	30,68 (5500)	39,05	11,15	14,69 (2700)	86,38	24,66	190,00 (9200)	144,40	41,08
Усть-Майский, пос. Усть-Мая	35,19 (5000)	49,27	14,08	14,08 (2700)	82,79	23,71	183,00 (9200)	139,08	39,76

Примечание. В скобках указана расчетная теплотворная способность топлива Q_D^R ккал/кг.

противления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций здания проводился по известной методике Л. Д. Богуславского и по формулам, рекомендованным СНиП II-3-79.

В соответствии с методикой Л. Д. Богуславского [241] R_o^{opt} рассчитывается по формуле

$$R_o^{opt} = \sqrt{\frac{B(t_b - t_n)}{A}} \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}/\text{ккал}. \quad (41)$$

Величина A учитывает удорожание конструкции с повышением ее теплозащитных свойств и определяется по формуле

$$A = \lambda_{ут} K_{огр}^m, \quad (42)$$

где $K_{огр}^m$ — переменная часть себестоимости 1 м³ теплоизолирующего слоя многослойного ограждения, включающая только те виды затрат, которые зависят от толщины панели.

Для ограждающих конструкций заводского изготовления $K_{огр}^m$ определяется по формуле [241]

$$K_{огр}^m = K_{мат}^m + u K_{мат}^m + h, \quad (43)$$

где $K_{мат}^m$ — стоимость 1 м³ утеплителя многослойного ограждения в руб., принимаемая по табл. 19;

u — величина, учитывающая изменение стоимости изготовления панели, принимаемая для трехслойных ограждений с эффективными утеплителями равной 0,07 [241];

h — усредненная стоимость транспортирования ограждающих конструкций, определяемая по формуле

$$h = (h_{погр} + i h_{пер}) \cdot \gamma \text{ руб}/\text{м}^3 \text{ ограждения}, \quad (44)$$

где $h_{погр}$ — стоимость погрузочно-разгрузочных работ в руб/т, определяемая по [251];

i — поясной коэффициент к тарифам на автомобильные перевозки, принимаемый для районов Якутской АССР равным 2 [251];

$h_{пер}$ — стоимость перевозки панелей в руб/т, определяемая по [251];

γ — объемная масса конструкции в т/м³.

Если здание получает тепловую энергию от групповой котельной, то величина B , учитывающая снижение эксплуатационных расходов, определяется по формуле [241]

$$B = [(1 + 0,025T_n) \alpha + (1 + 0,02T_n) 0,005 + (1,2 + 0,075T_n) d + \frac{0,2T_n n_{от} C_T (t_n - t_{ср.от})}{10^6 \gamma_{ген} (t_n - t_n)} + 1,4 \cdot 10^{-6} T_n n_{от} C_э N + 1,5gT_n (n_{от} + 600)] r, \quad (45)$$

- где T_n — нормативный срок окупаемости капитальных вложений, принимаемый для жилых зданий равным 10 годам [177, 241];
- α — удельное изменение стоимости системы отопления здания, принимаемое для жилых зданий с водяным отоплением равным 0,02 руб.ч/ккал [241];
- d — удельное изменение стоимости котельных в руб.ч/ккал, принимаемое по табл. 6 в работе [241];
- $n_{от}$ — продолжительность отопительного периода, ч;
- $t_n, t_{ср.от}$ — средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки и отопительного периода, °С;
- C_T — удельная стоимость топлива в руб/т усл. топлива, принимаемая по табл. 20;
- $\gamma_{ген}$ — коэффициент полезного действия котельной, принимаемый для групповых котельных при твердом топливе равным 0,65, газообразном и дизельном — 0,75 [241];
- $C_э$ — стоимость электроэнергии, принимаемая равной 0,01 руб/кВт.ч [241];
- N — удельный расход электроэнергии, принимаемый для отопительных котельных, работающих на твердом топливе, равным 18 кВт.ч/Гкал, на дизельном — 12 кВт.ч/Гкал [241];
- g — коэффициент, учитывающий изменение затрат на обслуживающий персонал котельных, принимаемый по табл. 10 в работе [241];
- r — коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепловой энергии, принимаемый для наружных стен равным 1,41 [241].

В соответствии с требованиями СНиП II-3-79 экономически целесообразное термическое сопротивление утеплителя предварительно определяется по формуле (20), а сопротивление теплопередаче ограждения — по формуле (22).

Значения R_0^{opt} и $R_0^{эк}$, вычисленные по формулам (41) и (22), представлены в табл. 21, а $R_0^{тр}$ — в табл. 22.

Сравнение данных табл. 21 и 22 показывает, что экономически оптимальное сопротивление теплопередаче стеновых ограждений в 1,4÷3,2 раза выше требуемого.

На выбор оптимального сопротивления теплопередаче ограждений определяющее влияние оказывает стоимость топлива и тепловой энергии. Так, расчет по методу Л. Д. Богуслав-

Таблица 21

Экономически оптимальное сопротивление теплопередаче стеновых ограждающих конструкций, м²·ч·°С/ккал

Утеплитель	Район, пункт	Топливо			
		каменный уголь	дрова	дизельное	
Плиты минераловатные	Якутский,	3,69	5,30	5,76	
	пос. Марха	3,04	5,17	6,27	
	Жиганский,	3,96	5,06	5,65	
	пос. Жиганск	3,85	5,10	6,31	
	Вилуйский,	3,67	5,03	5,80	
	г. Вилуйск	3,55	5,12	6,52	
	Усть-Майский,	4,14	5,11	5,88	
	пос. Усть-Мая	4,03	5,14	6,57	
	Пенопласт ФРП-1	Якутский,	3,93	5,64	6,13
		пос. Марха	3,21	5,50	6,67
Жиганский,		4,25	5,43	6,06	
пос. Жиганск		4,09	5,41	6,70	
Вилуйский,		3,95	5,42	6,26	
	г. Вилуйск	3,76	5,43	6,93	
	Усть-Майский,	4,44	5,48	6,32	
	пос. Усть-Мая	4,28	5,46	6,95	

Примечание. Числитель — по методу Л. Д. Богуславского, знаменатель — по СНиП II-3-79.

Таблица 22

Требуемое сопротивление теплопередаче стеновых ограждающих конструкций

Район, пункт	$R_0^{тр}$, м ² ·ч·°С/ккал	Примечание
Якутский,		Величина $R_0^{тр}$ для стеновых панелей с показателем тепловой инерции $D \leq 2,5$ увеличена на 30%.
пос. Марха	2,25	
Жиганский,		
пос. Жиганск	2,19	
Вилуйский,		
г. Вилуйск	2,19	
Усть-Майский,		
пос. Усть-Мая	2,19	

ского показывает, что, если при использовании каменного угля ($C_T = 20 \div 50$ руб/т усл. топлива) R_0^{opt} составляет $3,7 \div 4,4$ м²·ч·°С/ккал, то при отоплении дровами ($C_T = 70 \div 90$ руб/т усл. топлива) R_0^{opt} повышается в среднем на $20 \div 40\%$ и составляет $5,0 \div 5,6$ м²·ч·°С/ккал, а при наиболее дорогом дизельном топливе ($C_T = 100 \div 150$ руб/т усл. топлива) R_0^{opt} достигает $5,6 \div 6,3$ м²·ч·°С/ккал, что на $40 \div 60\%$ выше, чем в первом случае.

Из сопоставления значений R_0^{opt} и $R_0^{эк}$, вычисленных по формулам (41) и (22), видно, что зависимость $R_0^{эк}$ от стоимости тепловой энергии при расчете по СНиП II-3-79 выражена в большей степени, чем при расчете по методу Л. Д. Богуславского. Так, при сравнительно невысокой стоимости тепловой энергии (в случае использования каменного угля) $R_0^{эк}$, определенное по СНиП, на $3 \div 22\%$ ниже R_0^{opt} , вычисленного по методу Л. Д. Богуславского. При более высокой стоимости тепловой энергии (в случае использования дров) значения R_0^{opt} и $R_0^{эк}$ рассчитанные по формулам (41) и (22), близки между собой, а при использовании наиболее дорогого дизельного топлива формулы СНиП II-3-79 дают значения $R_0^{эк}$ уже на $9 \div 12\%$ выше, чем формулы Л. Д. Богуславского.

При использовании в качестве утеплителя пенопласта ФРП-1 оптимальное сопротивление теплопередаче на $6-8\%$ выше, чем при минераловатном утеплителе. Обусловлено это тем, что при почти равной стоимости этих утеплителей пенопласт ФРП-1 обладает более низким коэффициентом теплопроводности.

Зная оптимальное сопротивление теплопередаче и конструктивное решение ограждения можно определить экономически оптимальную толщину утеплителя по формуле

$$\delta_{ут}^{opt} = (R_0^{opt} - \Sigma R_{общ} - R_v - R_n) \lambda_{ут} \quad \text{м}, \quad (46)$$

где $\Sigma R_{общ}$ — суммарное термическое сопротивление конструктивных слоев панели, м²·ч·°С/ккал.

Величины $\delta_{ут}^{opt}$ для рассматриваемой конструкции ограждения, рассчитанные по формулам (46) и (21), представлены в табл. 23.

Проектная толщина утеплителя из минераловатных плит или пенопласта ФРП-1 стеновых панелей зданий 139 серии при расчетной температуре наружного воздуха -50°C и ниже принята равной 144 мм. Сравнение значений $\delta_{ут}^{opt}$ с проектной величиной показывает, что экономически выгодно увеличение толщины теплоизоляционного слоя стеновых панелей, при этом степень увеличения зависит в основном от стоимости применяемого топлива. При использовании для отопления здания каменного угля экономически целесообразная толщина утепли-

Экономически оптимальная толщина утеплителя
наружных стеновых панелей, мм

Утеплитель	Район, пункт	Топливо		
		каменный уголь	дрова	дизельное
Плиты минераловатные	Якутский,	169	249	272
	пос. Марха	137	243	298
	Жиганский,	182	238	267
	пос. Жиганск	177	239	300
	Вилуйский,	168	236	274
	г. Вилуйск	162	240	310
	Усть-Майский,	192	240	278
	пос. Усть-Мая	186	241	313
Пенопласт ФРП-1	Якутский,	152	224	244
	пос. Марха	122	218	267
	Жиганский,	165	215	242
	пос. Жиганск	159	214	268
	Вилуйский,	153	215	250
	г. Вилуйск	145	215	278
	Усть-Майский,	173	217	252
	пос. Усть-Мая	167	216	280

Примечание. Числитель — по методу Л. Д. Богуславского, знаменатель — по СНиП II-3-79.

теля равна в среднем $144 \div 174$ мм, то есть для некоторых районов необходимо увеличение толщины утеплителя примерно на 20% по сравнению с проектной величиной. При использовании более дорогих видов топлива экономически оправдано повышение толщины теплоизоляционного слоя до $194 \div 214$ мм, то есть на $35 \div 50\%$. Увеличение толщины слоя утеплителя выше 214 мм в большинстве случаев, по-видимому, нецелесообразно, так как по сортаменту пиломатериалов наибольшая ширина досок, образующих каркас панели, 220 мм (с учетом острожки боковых граней 214 мм) и при дальнейшем увеличении толщины теплоизоляционного слоя потребуются сплачивать доски каркаса по ширине, что значительно усложнит технологию изготовления панелей и приведет к их существенному удорожанию. Однако в отдельных глубинных районах республики, где для отопления зданий используется наиболее дорогое дизельное топливо, будет экономически оправданным увеличение слоя теплоизоляции до $250 \div 300$ мм.

Экономические подсчеты показывают, что дополнительные капитальные затраты, связанные с увеличением толщины минераловатного или пенопластового (ФПП-1) утеплителя стеновых панелей одного 12-квартирного жилого здания 139 серии от 144 до 214 мм, составляют примерно 3,5 тыс. руб., а годовая экономия средств на его отопление при средней стоимости топлива 70÷100 руб/т усл. топлива равна в среднем 350÷400 руб. Следовательно, дополнительные капитальные вложения окупаются за первые 8—10 лет эксплуатации здания, а за последующие 40 лет экономия составит 14—16 тыс. руб.

**§ 2. ЭКОНОМИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ
С ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ
ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОЗАЩИТЫ**

Как отмечалось в первой главе, преобладающее большинство малоэтажных жилых зданий в сельских районах Центральной Якутии до настоящего времени возводятся в брусчатом исполнении. Деревянные здания панельной конструкции более широкое применение стали получать только в последние годы. Ограждающие конструкции деревянных панельных зданий, выполненные с применением высокоэффективных утеплителей, обладают значительно более высокими теплозащитными свойствами по сравнению с ограждениями брусчатых домов. Это приводит к существенной экономии тепловой энергии при их эксплуатации в условиях сурового климата Центральной Якутии, а также к повышению теплового комфорта помещений панельных зданий.

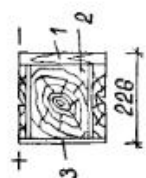
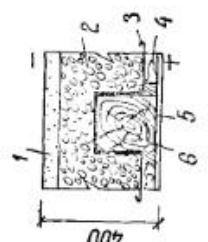
Ниже рассмотрена экономическая эффективность применения панельных ограждающих конструкций повышенной теплозащиты на примере 12-квартирного жилого здания (типовой проект 111-139-9 м/75), эксплуатируемого в Якутском районе.

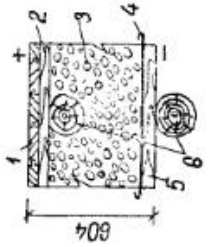
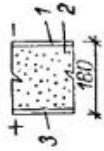
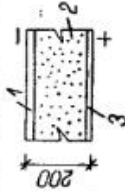
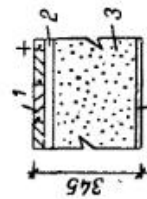
Проведено сравнение показателей ограждающих конструкций и эксплуатационных расходов на отопление этого здания для двух вариантов: в брусчатом и панельном исполнении. В первом случае используются традиционные конструктивные решения с применением древесины и утеплителя из керамзитового гравия, во втором — клефанерные панели, утепленные пенопластом ФПП-1. Необходимые для сравнения данные по ограждающим конструкциям и их утеплителям представлены в табл. 24 и 25. Для обоих вариантов принято тройное остекление оконных заполнений с сопротивлением теплопередаче 0,6 м²·ч·°С/ккал и площадью 94 м².

Сравниваемые здания имеют одинаковый внутренний объем помещений, однако вследствие существующих различий конструктивных решений стен и перекрытий, а также их узлов, площади соответствующих ограждающих конструкций разные.

Таблица 24

Характеристики наружных ограждающих конструкций 12-квартирного жилого здания

Здание	Конструкция	Схема	Слои	Толщина слоя, мм	Площадь, м ²	Масса, 1 м ² , кг	Стоимость, 1 м ² , руб.	Общая стоимость, руб.	Сопротивление теплопередаче	
									R ₀ , м ² ·ч·°С	ккал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10
Брусчатое	Наружная стена		1 — дощатая обшивка 2 — сосновый брус 3 — сухая штукатурка	16	703,7*	139	26,67*	18767	1,86*	
				200						
				10						
Чердачное перекрытие			1 — цементная стяжка 2 — керамзитовый гравий 3 — рубероид 4 — дощатый настил 5 — сухая штукатурка 6 — балки из бруса	30	375,2	304	38,77	17513	2,76	
				320						
				—						
				40						
				10						
				200						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Цокольное пенополиуретановое покрытие		1 — доски чистого пола 2 — дощатый настил 3 — керамзитовый гравий 4 — рубероид 5 — дощатый настил 6 — балки из бревен	29 25 510 — 40 160	361,4	406	48,46	14546	4,36
Панельное	Наружная стена		1 — фанера ФСФ 2 — пенопласт ФПП-1 3 — фанера ФК	8 144 8	604,7*	27	38,62*	23355	3,83*
			1 — древесностружечная плита 2 — пенопласт ФПП-1 3 — фанера ФСФ	16 174 10	397,8	43	33,56	17141	5,31
			1 — доски чистого пола 2 — древесностружечная плита 3 — пенопласт ФПП-1 4 — фанера ФСФ	29 16 290 10	385,2	56	44,50	13350	8,87

* Данные получены с учетом площади, стоимости и сопротивления теплопередаче оконных заполнения.

Таблица 25

Основные характеристики утеплителей

Утеплитель	Объемная масса γ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности	
		λ , м·ч·°С	Стоимость 1 м ² , руб.
Древесина (сосна поперек волокон)	550	0,12	78,16
Керамзитовый гравий	550	0,15	45,25
Пенопласт ФПП-1	40	0,035	63,00

Из представленных данных по массе 1 м² конструкций видно, что панельные ограждения в 5,1÷7,2 раза легче традиционных ограждающих конструкций брусчатого здания. Это является их важным преимуществом, так как уменьшается масса здания в целом и, следовательно, снижается нагрузка на фундаменты, что позволяет получить определенную экономию при их возведении и, кроме того, сокращаются расходы, связанные с транспортировкой конструкций.

Сравнение ограждающих конструкций панельного и брусчатого зданий по удельной стоимости показывает, что панельное стеновое ограждение (вследствие более сложной технологии их изготовления) на 45% дороже стены, выполненной из бруса. Конструкции чердачного и цокольного перекрытий в панельном здании наоборот на 9÷15% дешевле аналогичных конструкций брусчатого здания. Это обусловлено значительно меньшим удельным расходом пенопластового утеплителя в панельных конструкциях по сравнению с утеплителем из керамзитового гравия в перекрытиях брусчатого здания. В целом строительная стоимость ограждающих конструкций панельного здания 53 846 руб., а брусчатого — 50 826 руб., то есть ограждения панельного здания на 3020 руб., или на 6% дороже брусчатого.

Как уже отмечалось, важнейшим преимуществом панельных конструкций с пенопластовым утеплителем является их высокая теплозащитная способность. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций панельного здания в 1,9÷2,1 раза выше, чем ограждений брусчатого дома (табл. 24). Высокие теплозащитные качества панельных конструкций достигнуты благодаря использованию высокоэффективного утеплителя — пенопласта ФПП-1, коэффициент теплопроводности которого в 3,4÷4,3 раза ниже, чем древесины и керамзитового гравия (табл. 25). С повышением теплозащитных свойств ограждающих конструкций теплопотери здания сокращаются, что ведет к экономии тепловой энергии и снижению расхода топлива. Данные по теплопотерям двух рассматриваемых зданий за отопительный период для условий Якутского района приведены в

Таблица 26

Теплопотери 12-квартирного жилого здания
за отопительный период

Здание	Конструкция	Теплопотери через ограж- дения, Гкал	Общие теплопотери здания, Гкал	Годовой расход каменного угля на отопление, т
Брусчатое	Наружные стены и окна	120,5	170	97
	Чердачное перекрытие	29,5		
	Цокольное перекрытие	20,0		
Панельное	Наружные стены и окна	73,3	100	57
	Чердачное перекрытие	16,2		
	Цокольное перекрытие	10,5		

табл. 26. Расчет теплопотерь произведен в соответствии с требованиями СНиП II-33-75 [252], согласно которым учтены как основные теплопотери через ограждающие конструкции, так и дополнительные, учитывающие инфильтрацию наружного воздуха.

Как следует из табл. 26, за один отопительный сезон экономия тепловой энергии в панельном здании по сравнению с брусчатым составляет 70 Гкал. При использовании для отопления зданий каменного угля Кангаласского месторождения его годовой расход для панельного здания на 40 т меньше, чем для брусчатого, и при средней стоимости тепловой энергии в Якутском районе 6,38 руб./Гкал годовая экономия на отоплении панельного здания составляет примерно 450 руб. Следовательно, разница в строительной стоимости ограждающих конструкций панельного и брусчатого зданий, составляющая 3020 руб., окупится за первые 7 лет эксплуатации панельного дома, а за последующий срок его эксплуатации экономия составит около 20 000 руб., при этом будет сэкономлено около 2000 т каменного угля, который может быть использован для других потребностей народного хозяйства.

При застройке поселка на 5000 жителей панельными зданиями повышенной теплозащиты годовой эффект от экономии тепловой энергии составит около 40÷50 тыс. рублей, при этом расход каменного угля сократится примерно на 4 тыс. тонн. За 40 лет эксплуатации такого поселка экономический эффект будет равен примерно 2 млн. руб. Предварительные данные

получены для наиболее распространенного и недорогого вида топлива — каменного угля. При использовании таких видов топлива, как дрова или дизельное, экономический эффект значительно повышается. Следует иметь в виду и то обстоятельство, что стоимость топлива с течением времени повышается быстрее и в большей степени, чем стоимость строительных материалов. Необходимо отметить также, что при повышении теплозащитных свойств ограждающих конструкций улучшается тепловой комфорт помещений здания, что имеет особенно важное значение для районов Крайнего Севера с суровыми природно-климатическими условиями.

Таким образом, использование панельных ограждающих конструкций жилых зданий повышенной теплозащиты в районах холодного климата Центральной Якутии является перспективным и экономически выгодным как с точки зрения экономии тепловой энергии, так и повышения их комфортабельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мобильные жилища для Севера (из легких сплавов и синтетических материалов). Под ред. С. М. Верижникова. Л., Стройиздат, 1976. 160 с.
2. Невин Е. А., Лисогор С. М., Антонов А. Ф. Строительство в Канаде.— ЦНТИ по строительству и архитектуре, 1973. 182 с.
3. Орлов В. А. Индустриальное домостроение из дерева и эффективных материалов. Перспективы использования канадского опыта в районах Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1974. 92 с.
4. Орлов В., Лажинцев В., Пальцевич Л. Сборно-разборные здания для строительства на Севере.— Архитектура СССР, 1976, № 4, с. 46—51.
5. Губенко А. Б. Строительные конструкции с применением пластмасс. М., Стройиздат, 1970. 328 с.
6. Ястребов А. Л. Зарубежный опыт строительства на Крайнем Севере. Л., Стройиздат, 1969. 118 с.
7. СНиП П-А. 6-72. Строительная климатология и геофизика. М., Стройиздат, 1973. 320 с.
8. Васьяковский А. П. Температурно-влажностный режим жилых и общественных зданий на Крайнем Севере. Л., 1961. 38 с.
9. Васьяковский А. П. Исследования влажностного и теплового режима жилых и общественных зданий в Приморской полосе Крайнего Севера. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. [Рукопись]. М., 1962. 212 с.
10. Васьяковский А. П., Шкляр Н. Д. Температурно-влажностный режим в первых домах повышенной этажности на Крайнем Севере.— Сб. научных трудов Норильского вечернего индустриального ин-та, 1973, вып. 15, с. 83—91.
11. Тулякова Л. Ф., Винокур И. Л. Гигиеническая оценка микроклимата в жилых домах капитального строительства в условиях Норильска.— В кн.: Гигиенические вопросы акклиматизации населения на Крайнем Севере. М., Медгиз, 1961.
12. Тулякова Л. Ф. Вопросы гигиены при проектировании жилых домов для районов распространения вечномерзлых грунтов.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1963, т. 4, с. 46—52.
13. Тулякова Л. Ф. Санитарно-гигиенические требования к микроклимату жилища.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1966, т. 3, с. 393—405.
14. Тулякова Л. Ф. К гигиеническому обоснованию оптимальной ориентации жилищ на Севере.— Проблемы Севера, М., Наука, 1970, вып. 14, с. 156—163.
15. Тулякова Л. Ф., Антропов Г. А. К вопросу о нормах микроклимата в жилищах на Севере.— Проблемы Севера, М., Наука, 1970, вып. 14, с. 164—171.
16. Смирницкий Н. С. Гигиеническая оценка крупнопанельных жилых домов в Норильске.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1966, т. 3, с. 380—392.
17. Бутлицкий А. Э. Микроклимат жилищ на Крайнем Севере и пути его улучшения (на примере г. Норильска). Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. [Рукопись]. М., 1964. 169 с.
18. Бутлицкий А. Э. Особенности микроклимата жилищ на Крайнем Севере.— Жилищное строительство, 1965, № 2, с. 20—23.
19. Бутлицкий А. Э. Исследование температурного режима полов первых этажей в зданиях с проветриваемыми подпольями.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1966, т. 3, с. 180—194.
20. Костров А. И., Маков Ю. М. Результаты натурных испытаний панельных зданий в Арктике.— В кн.: Совершенствование крупнопанельного домостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов и сурового климата. Красноярск, 1969. (Дополнительный том), с. 91—103.
21. Маков Ю. М., Костров А. И. Натурные исследования ограждающих конструкций зданий.— В кн.: Вопросы строительства жилых и общественных зданий в условиях I климатической зоны. Л., (ЛенЗНИИЭП), 1972, с. 24—45.
22. Лажинцев В. И., Ковальская Н. И., Квач И. К., Колошко В. С., Богданов В. А. Экспериментальное исследование объемных блоков типа «пакет».— В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1972, сб. 24, с. 43—53.
23. Пчелинцев В. Т. Температурный режим дома из алюминиевых панелей.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1970, т. 4, вып. 2, с. 134—138.
24. Абакумов Ю. Н., Муха В. И., Захарчук М. С. Эксплуатационные свойства ограждающих конструкций в крупнопанельных зданиях серии I-464-ВМ.— В кн.: Проблемы строительства в Якутской АССР. Якутск. Кн. изд-во, 1974, вып. 2, с. 10—14.
25. Муха В. И., Абакумов Ю. Н., Захарчук М. С. Температурный режим пола в крупнопанельном доме серии I-464-ВМ.— В кн.: Проблемы строительства в Якутской АССР, вып. 2, Якутск, 1974, с. 183—188.
26. Тимошенко А. Т., Сивцев М. А. Натурные теплотехнические исследования экспериментального здания из объемных элементов в условиях г. Якутска.— В кн.: Исследования по физико-техническим проблемам Севера. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1974, с. 208—225.
27. Тимошенко А. Т. Теплозащитные свойства многослойных ограждающих конструкций с утеплителем ФРП-1.— В кн.: Тепло- и массообмен во влажных материалах. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1975, с. 71—82.
28. Тимошенко А. Т. Исследование микроклимата деревянных жилых зданий панельной конструкции.— В кн.: Тепло- и массообмен во влажных материалах. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1975, с. 83—96.
29. Тимошенко А. Т., Никитина Л. М., Хрулев В. М., Мартынов К. Я. Теплофизические характеристики пенопласта ФПБ с древесным наполнителем.— Изв. вузов. Строительство и архитектура, 1977, № 7, с. 72—76.
30. Тимошенко А. Т. Влияние климата Центральной Якутии на температурный режим легких ограждающих конструкций различной ориентации.— В кн.: Теплофизические и массообменные свойства гигроскопических материалов. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1977, с. 3—13.
31. Тимошенко А. Т. Исследование теплофизических характеристик полимерных теплоизоляционных материалов.— В кн.: Математическое моделирование и экспериментальное исследование процессов тепло- и массопереноса. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1979, с. 114—119.
32. Никитина Л. М., Тимошенко А. Т. Теплофизические характеристики пенопласта ФРП-1.— ВНИИ ЯФ СО АН СССР, 1978, с. 20—23.
33. Попов Г. Г., Тимошенко А. Т., Толстяков Д. Н. Численные исследования теплоустойчивости легких ограждающих конструкций.— В кн.: Теп-

- лофизические и массообменные свойства гигроскопических материалов. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1977, с. 14—24.
34. Великий К. Ф., Костров А. И., Кузнецов В. И. Здания из пластмасс для полярных районов и Крайнего Севера. Л., Стройиздат, 1971. 136 с.
35. Лажинцев В. И., Квач И. К. Сборное здание из несущих панелей с применением эффективных материалов.— В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1972, сб. 24, с. 54—63.
36. Крупица К. К., Лажинцев В. И. Предложения по решениям зданий малых временных поселков.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1968, т. 5, вып. 1, с. 44—54.
37. Лажинцев В. И. Сборно-разборные здания для Крайнего Севера.— В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1969, сб. 16, с. 19—32.
38. Лажинцев В. И. Сборно-разборные здания с применением объемных блоков типа «пакет».— В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1972, сб. 24, с. 33—42.
39. Кудашов Е. А., Макаревич Л. А., Григорьев М. В. Сборно-разборные жилые поселки.— Жилищное стро-во, 1975, № 2, с. 6—7.
40. Кузина З. Г., Пальцевич Л. П., Лажинцев В. И. Техничко-экономический анализ применения различных материалов в конструкциях сборно-разборных зданий.— В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1972, сб. 24, с. 92—97.
41. Доос А. В., Казанцев И. А. Технология изготовления и испытания передвижного сборно-разборного жилого дома для Крайнего Севера.— В кн.: Полимерные материалы в жилищном и гражданском строительстве на Крайнем Севере. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1972, с. 28—38.
42. Казанцев И. А., Либер И. С. Тепловая защита и инженерное оборудование зданий на Севере. Л., Стройиздат, 1975. 136 с.
43. Казанцев И. А., Григорьева М. Н., Бродский Г. Е. Эксплуатационные испытания сборно-разборных и передвижных домов в районах Крайнего Севера.— В кн.: Тепловая защита и микроклимат малогабаритных жилых зданий на Севере. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 46—69.
44. Шагов Н. В. Влияние теплозащитных качеств ограждающих конструкций из пластмасс на микроклимат передвижных жилых домов для условий Крайнего Севера. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. [Рукопись], М., 1972. 141 с.
45. Урманов Р. Ш. Теплоустойчивость зданий с облегченными ограждающими конструкциями. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1975. 29 с.
46. Урманов Р. Ш. Теплоустойчивость зданий при аperiodических резких тепловых воздействиях.— В кн.: Тепловая защита и микроклимат малогабаритных жилых зданий на Севере. Л., (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 90—99.
47. Дизендорф В. Э. Выбор термического сопротивления наружных ограждений мобильных жилых домов. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1975. 25 с.
48. Левин С. Стройка Крайнего Севера — экономичные конструкции.— Экономика стр-ва, 1968, № 2, с. 59—60.
49. Вержников С. М., Казанцев И. А., Луцко И. С. Дом для Крайнего Севера.— Жилищное стро-во, 1974, № 5, с. 16.
50. Луцко И. С., Казанцев И. А., Григорьева М. Н. Теплотехнические и санитарно-гигиенические исследования экспериментального дома-лизы.— В кн.: Тепловая защита и микроклимат малогабаритных жилых зданий на Севере. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 80—89.
51. Бондаренко Э. В., Миронова В. А. Инвентарные здания из объемных блоков.— В кн.: Вопросы строительства жилых и общественных зданий в условиях I климатической зоны. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1972, с. 12—15.
52. Кралин А. В., Черных Б. В. Серия типовых проектов жилых и об-

- щественных зданий инвентарных.— В кн.: Новые типы жилища. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1973, с. 86—94.
53. Кралин А. В., Сидоров Ю. В. Здания для временных поселков на Дальнем Севере.— Проблемы Севера. М., Наука, 1974, вып. 19, с. 75—80.
54. Зимин Л. И., Кралин А. В., Нейфах Л. С., Черных Б. В. Инвентарные здания и поселки строителей в районах нового промышленного освоения.— В кн.: Планировка и застройка северных городов. Киев, Будівельник, 1974, с. 30—40.
55. Онуфриев В. К., Доос А. В. Передвижные дома для оленеводов, охотников и рыбаков Крайнего Севера.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1970, т. 3, вып. 3, с. 5—9.
56. Темнов В. Г., Фершук О. А. Мобильные жилые дома для районов Севера.— В кн.: Конструкции гражданских зданий для северных районов страны. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 66—70.
57. Вели Ю. Я. Новый этап в развитии строительства с применением алюминия на Крайнем Севере.— В кн.: Жилищное строительство в условиях Арктики. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 3—8.
58. Танкаян В. Г., Новичкова Ю. Д. Двойной эксперимент в Арктике.— В кн.: Вопросы строительства жилых и общественных зданий в условиях I климатической зоны. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1972, с. 5—11.
59. Танкаян В. Г. Опыт экспериментального проектирования жилых зданий из легких конструкций.— Проблемы Севера. М., Наука, 1974, вып. 19, с. 71—75.
60. Крашенинников А. Н., Галактионов А. В., Казанцев И. А. Стеновые панели на основе армированного пенопласта для строительства на Крайнем Севере.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1968, т. 5, вып. 1, с. 120—140.
61. Вишневецкий Г. Д., Крашенинников А. Н., Галактионов А. В., Казанцев И. А., Белов Ю. Н., Семенов Ю. А. Разработка нового типа навесных стеновых панелей на основе фенольного поропласта.— В кн.: Полимерные материалы в жилищном и гражданском строительстве на Крайнем Севере. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1972, с. 7—27.
62. Костров А. И. Для шестого континента.— Строительство и архитектура Ленинграда, 1967, № 2, с. 32.
63. Вознесенский С. Б. Стеновые и кровельные панели из алюминиевых сплавов и пенопластов.— В кн.: Вопросы применения эффективных теплоизоляционных материалов в строительных конструкциях. Вильнюс, 1968, с. 37—53.
64. Тюзнева О. Б. Ограждающие трехслойные конструкции из алюминия и пластмасс каркасных сборно-разборных зданий для районов Крайнего Севера.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1968, т. 5, вып. 1, с. 55—66.
65. Годило П. В. Изготовление трехслойных ограждающих конструкций из алюминия и беспрессового пенополистирола для сборно-разборных зданий, применяемых на Крайнем Севере.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1968, т. 5, вып. 1, с. 55—66.
66. Сборно-разборные здания для Северо-Востока страны. М., 1973. 49 с.
67. Чистяков А., Тюзнева О., Годило П., Климов О., Меркулов Б., Данилин Ю. Сборно-разборные здания из алюминия и пенопласта.— На стройках России, 1975, № 3, с. 28—30.
68. Савойский В. М., Шекотова А. Н. Эффективные ограждающие конструкции для индустриального малоэтажного строительства в среднем Приобье.— В кн.: Строительство на вечномерзлых грунтах. Красноярск, 1970, т. 4, вып. 2, с. 58—63.
69. Терехин В. Г., Савойский В. М., Хахулин В. Г. Научно-технические проблемы развития индустриального деревянного домостроения в Сибири.— В кн.: Индустриальные деревянные конструкции в жилищном строительстве Сибири. Новосибирск (СибЗНИИЭП), 1975, вып. 9, с. 5—9.

70. Терехин В. Г., Савойский В. М., Турковский С. Б. Основные направления развития деревянного домостроения в Сибири.— В кн.: Использование древесины в жилищном строительстве. Новосибирск (СибЗНИИЭП), 1973, вып. 4, с. 5—11.
71. Хахулин В. Г. Передвижные жилые дома для районов нового освоения Сибири.— В кн.: Использование древесины в жилищном строительстве Сибири. Новосибирск (СибЗНИИЭП), 1973, вып. 4, с. 12—18.
72. Безверхий А. А., Метлина А. И. Пенопласт ФПБ.— На стройках России, 1975, № 3, с. 40—41.
73. Безверхий А. А., Полиновская Н. А., Метлина А. И. Трехслойные наружные стеновые панели с утеплителем из фенольного пенопласта ФПБ в жилищном строительстве Западной Сибири.— В кн.: Применение пластмасс в ограждающих конструкциях для жилищного и гражданского строительства. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 21—23.
74. Колпаков С. В., Метлина А. И. Фенольный пенопласт и его применение в строительстве.— Труды третьей межвузовской конференции по применению пластмасс в строительстве. Казань, 1972, с. 327—329.
75. Славин С. В. Освоение Севера. М., Наука, 1975. 198 с.
76. Колосова А. Ф., Копысов Н. С., Царев В. Т. Эффективность сельскохозяйственного строительства.— В кн.: Проблемы строительства в Якутской АССР. Якутск, 1974, вып. 2, с. 23—29.
77. Сахаров А. Н., Левинсон В. Д. Проектирование сельского жилища для Крайнего Севера.— Проблемы Севера, М., Наука, 1974, вып. 19, с. 87—98.
78. Сахаров А. Н. Сельские жилые дома для Крайнего Севера. М., Стройиздат, 1974. 105 с.
79. Сидорин А., Головачева Е. Проблемы организации деревянного стандартного домостроения для Крайнего Севера. — Архитектура СССР, 1974, № 7, с. 31—33.
80. Сахарова Р., Сахаров А., Сидорин А. Новые проекты жилых домов для поселков Крайнего Севера.— Архитектура СССР, 1974, № 7, с. 33—37.
81. Мачинский В. Д. О тепломкости зданий. Доклад № 47.— Труды Всесоюз. конф. «Вопросы современного жилищного и промышленного строительства». М., Плановое хозяйство, 1926, с. 200—206.
82. Мачинский В. Д. Теплотехнические основы строительства. М., Стройиздат, 1949.
83. Власов О. Е. Плоские тепловые волны.— Изв. теплотехн. ин-та. 1927, вып. 3 (26), с. 70—83.
84. Власов О. Е. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций. М.—Л., Госстройиздат, 1933, 46 с.
85. Шкловер А. М. Метод расчета зданий на теплоустойчивость. М., 1945. 82 с.
86. Шкловер А. М. Теплоустойчивость зданий. М., Госстройиздат, 1952. 167 с.
87. Шкловер А. М. Теплотехнические расчеты зданий, расположенных на юге СССР. М., Госстройиздат, 1952. 44 с.
88. Шкловер А. М., Васильев Б. Ф., Ушков Ф. В. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий. М., Госстройиздат, 1956. 350 с.
89. Шкловер А. М. Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961, 160 с.
90. Шкловер А. М. Основные задачи теории теплоустойчивости.— Изв. Акад. стр-ва и архит. СССР, 1962, № 3, с. 97—98.
91. Семенов Л. А. Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий. М., Машстройиздат, 1950. 263 с.
92. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М., Стройиздат, 1973. 287 с.
93. Ушков Ф. В. Теплотехнические свойства крупнопанельных зданий и расчет стыков. М., Стройиздат, 1967. 238 с.
94. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. М., Высшая школа, 1970. 375 с.
95. Селиверстов Г. А. К вопросу тепловой инерции зданий. М., Госстройиздат, 1933.
96. Селиверстов Г. А. Теплоустойчивость зданий. М.—Л., Госстройиздат, 1934, 52 с.
97. Муромов С. И. Расчетные температуры наружного воздуха и теплоустойчивость ограждений. М.—Л., Госстройиздат, 1939. 72 с.
98. Швидковский Е. Г. К теории плоских температурных волн.— ЖТФ, М.—Л., 1940, т. 10, вып. 2, с. 158—167.
99. Семенов Л. А. О нормах теплоустойчивости ограждений в зимних условиях.— Водоснабжение и санитарная техника, 1965, № 3, с. 9—11.
100. Жук И. П. Теплопередача в ограждающих строительных конструкциях.— ИФЖ, 1962, т. 5, № 5, с. 119—129; № 6, с. 121—125.
101. Лыков А. В. О теории теплоустойчивости ограждающих конструкций.— Изв. Акад. стр-ва и архит. СССР, 1961, № 1, с. 69—74.
102. Темкин А. Г. Температурное поле многослойной стенки.— ИФЖ, 1962, т. 5, № 10, с. 104—117.
103. Темкин А. Г. О теплопередаче через ограждающие строительные конструкции.— ИФЖ, 1962, т. 5, № 6, с. 118—120.
104. Фокин К. Ф. О коэффициенте теплоусвоения.— Изв. Акад. стр-ва и архит. СССР, 1962, № 3, с. 96—97.
105. Шевельков В. Л. К теории теплоустойчивости ограждающих конструкций.— Изв. Акад. стр-ва и архит. СССР, 1962, № 3, с. 92—96.
106. Жук И. П. К расчету температурного поля в многослойной стенке.— ИФЖ, 1962, т. 5, № 10, с. 100—103.
107. Жук И. П. Теплопередача в строительных ограждающих конструкциях (периодическое изменение температуры среды). Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, Минск, 1965. 14 с.
108. Жук И. П., Минченкова Л. П. Теплотехнический расчет наружных ограждений. Минск, Наука и техника, 1975. 100 с.
109. Наседкин В. В. Представление процесса колебания температуры в стенах зданий на основе коэффициента теплоусвоения $(a/\omega)^{1/2}$ —ИФЖ, 1975, т. 29, № 6, с. 1101—1106.
110. Наседкин В. В. О некоторых задачах теории теплоустойчивости ограждающих конструкций зданий.— Изв. вузов, Строительство и архитектура, 1977, № 11, с. 148—153.
111. Наседкин В. В. Об обобщенных переменных процесса теплопередачи в многослойных пластинах при гармоническом изменении температуры.— ИФЖ, № 2694—77 Деп., Минск, 1977. 13 с.
112. Наседкин В. В. К методологическим основам теплопередачи в многослойных пластинах при колебании температуры.— В кн.: Вопросы теплотехники. Ростов-на-Дону, 1976, с. 3—16.
113. Богословский В. Н. Новый метод учета теплоинерционных качеств ограждений при расчете $R_{\text{тп}}$. — Водоснабжение и санитарная техника, 1963, № 1, с. 15—20.
114. Богословский В. Н. Определение теплотерь помещений через наружные ограждения.— Водоснабжение и санитарная техника, 1964, № 3, с. 14—17.
115. Богословский В. Н. Теплоустойчивость вентилируемых и кондиционируемых помещений.— Водоснабжение и санитарная техника, 1968, № 1, с. 13—20.
116. Богословский В. Н., Титов В. П. Выбор расчетных характеристик наружных климатических условий по коэффициенту обеспеченности заданного теплового режима помещений.— Водоснабжение и санитарная техника, 1969, № 11, с. 19—24.
117. Аманьев А. И. Исследование температурного режима помещений полносборного жилого дома серии К-7-3 при резком понижении температуры

- наружного воздуха.— В кн.: Жилищное хозяйство (Сб. научных трудов АКХ), М.-Л., 1966, № 4, вып. 40, с. 20—34.
118. *Ананьев А. И., Брилинг Р. Е.* Лабораторные исследования теплоустойчивости ограждающих конструкций домов серий 1МГ-300 и 1605АМ при резком понижении температуры.— В кн.: Жилищное хозяйство (Сб. научных трудов АКХ), М.-Л., 1966, № 4, вып. 40, с. 35—44.
119. *Ананьев А. И.* Исследование теплоустойчивости помещений с различными ограждающими конструкциями при резком понижении температуры наружного воздуха. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, М., 1968, 19 с.
120. *Ананьев А. И., Хлевчук В. Р.* Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций при резком понижении температуры наружного воздуха.— Научные труды АКХ, М., 1970, вып. 66, с. 24—32.
121. *Ананьев А. И.* Влияние внутреннего фактурного слоя на теплоустойчивость наружных ограждений при резком понижении температуры наружного воздуха.— Научные труды АКХ, М., 1970, вып. 66, с. 33—37.
122. *Ананьев А. И.* Влияние площади световых проемов на теплоустойчивость помещений в зимних условиях.— В кн.: Теплозащитные свойства ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. М. (МНИИТЭП), 1972, с. 20—29.
123. *Шаприцкая М. В.* Динамические характеристики однородных ограждающих конструкций зданий.— Научные труды АКХ, М., 1965, вып. 4, с. 50—66.
124. *Шаприцкая М. В.* Исследование теплоустойчивости ограждающих конструкций зданий при изменениях температуры наружного воздуха. Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук, М., 1970, 24 с.
125. *Шаприцкая М. В.* Некоторые вопросы теплопередачи через строительные ограждающие конструкции.— Научные труды АКХ, М., 1971, вып. 79, с. 101—116.
126. *Кожимов И. А., Зацаринная Н. С.* Расчет температурного режима зданий в зимних условиях с учетом нестационарности процессов теплообмена.— Научные труды НИИСФ, 1970, вып. 2, с. 38—54.
127. *Зацаринная Н. С.* Тепловой режим зданий в зимних условиях с учетом нестационарности процессов теплообмена. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, М., 1970.
128. *Калладин Ю. А.* К расчету требуемого сопротивления теплопередаче легких ограждающих конструкций с малой тепловой инерцией.— Научные труды НИИСФ, М., 1976, вып. 17 (XXXI), с. 44—48.
129. *Табунщиков Ю. А.* Теплоустойчивость и требуемое сопротивление теплопередаче легких ограждений в зимних условиях.— Научные труды НИИСФ, М., 1975, вып. 10 (XXIV), с. 52—59.
130. *Авдеев Г. К.* Тепловая инерция экспериментального дома-секции с легкими навесными панелями с применением пластмасс.— В кн.: Проблемы строительной теплофизики. Минск, Высшая школа, 1964, с. 337—347.
131. *Васильев Б. Ф.* Методика натуральных наблюдений температурно-влажностного режима жилых зданий.— В кн.: Исследования по строительной теплофизике. М., 1959, с. 124—187.
132. *Васильев Б. Ф.* Летний перегрев помещений и их ориентация.— Изв. Акад. стр-ва и archit. СССР, 1961, № 3, с. 119—123.
133. *Васильев Б. Ф.* Об эксплуатационном режиме жилых домов средней этажности в Ашхабаде.— Жилищное стр-во, 1967, № 2, с. 5—7.
134. *Ершов А. В., Насонов Е. А.* Методы совместного использования искусственного охлаждения и естественных средств улучшения микроклимата жилища.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1968, № 7, с. 35—37.
135. *Ершов А. В., Вавилова Э. А.* Летний тепловой режим южного жилища в естественных условиях эксплуатации.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1969, № 8, с. 9—13.
136. *Ершов А. В., Гольдштейн Г. К., Корбуз Г. О.* Учет солнечной ра-

- диации при проектировании жилых зданий в условиях Средней Азии.— Гелиотехника, 1971, № 3, с. 48—54.
137. *Кожимов И. А., Угрюмов Е. И.* К вопросу расчета температур в помещении в летних условиях.— Научные труды НИИСФ, 1969, вып. 1, с. 26—33.
138. *Угрюмов Е. И.* Исследование теплоустойчивости наружных стен жилых зданий в Узбекистане.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1966, № 8, с. 39—41.
139. *Угрюмов Е. И.* Теплоустойчивость наружных ограждений и помещения в целом.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1968, № 11, с. 33—37.
140. *Угрюмов Е. И.* Исследование влияния теплоустойчивости облегченных ограждений на температурный режим помещений жилых и общественных зданий в летних условиях. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, М., 1969, 21 с.
141. *Угрюмов Е. И.* Предложения по оценке теплоустойчивости облегченных ограждающих конструкций в летних условиях Средней Азии.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1971, № 1, с. 35—38.
142. *Угрюмов Е. И.* Методика натурных испытаний ограждающих конструкций на теплоустойчивость.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1974, № 5, с. 40—42.
143. *Кореньков В.* О наружных ограждениях южных жилых домов.— Жилищное строительство, 1960, № 10, с. 14—15.
144. *Маракаев Р. Ю., Межевников Б. С., Пермьяков С. И.* О выборе материала ограждающих конструкций крупнопанельных зданий в южных районах.— Труды Ташкентского политехнического ин-та, 1971, вып. 79, с. 56—59.
145. *Маракаев Р. Ю., Межевников Б. С., Табунищников Ю. А.* К вопросу лабораторных испытаний ограждающих конструкций зданий на теплоустойчивость в условиях летнего перегрева.— Гелиотехника, 1971, № 6, с. 58—61.
146. *Маракаев Р. Ю., Пермьяков С. И., Межевников Б. С.* К расчету ограждающих конструкций эксплуатационных зданий в условиях резко континентального климата.— Труды Ташкентского политехнического ин-та, 1972, вып. 73, с. 164—169.
147. *Маракаев Р. Ю., Межевников Б. С., Пермьяков С. И., Федоров В. К., Брусов В. П., Алиев Ф. Г.* Вопросы обеспечения удовлетворительного микроклимата помещений и застроек в условиях жаркого климата.— Гелиотехника, 1972, № 6, с. 47—59.
148. *Межевников Б. С.* Методика испытаний элементов зданий на теплоустойчивость в летних условиях.— Труды Ташкентского политехнического ин-та, 1972, вып. 73, с. 177—190.
149. *Пермьяков С. И., Межевников Б. С.* Климатические воздействия на ограждающие конструкции и помещения и тепловой режим здания.— Научные труды НИИСФ, 1970, вып. 2, с. 17—37.
150. *Могилат А. Н.* Теплоустойчивость полносборных наружных стен при воздействии солнечной радиации. Харьков, изд.-во ХГУ, 1967, 136 с.
151. *Могилат А. Н.* Теплоустойчивость полносборных наружных стен при воздействии солнечной радиации. Автореф. дис. на соиск. учен. степени докт. техн. наук, Минск, 1970, 30 с.
152. *Солдатов Е. А.* Оценка теплоустойчивости стеновых ограждающих конструкций в летних условиях на территории Голодной степи.— Научные труды НИИ по строительству в г. Ташкенте, 1963, вып. 5, с. 70—79.
153. *Солдатов Е. А.* Летний температурный режим облегченного стенового ограждения здания.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1966, № 4, с. 37—39.
154. *Солдатов Е. А.* Влияние наружных ограждений зданий на тепловой режим помещений в летний период.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1969, № 8, с. 13—16.
155. *Солдатов Е. А., Дмитриева Л. Д.* Теплофизические качества наружных стеновых ограждений с теплоизоляцией из пенополистирола в усло-

виях жаркого климата.— Труды Ташкентского политехнического ин-та, 1972, вып. 88, с. 45—49.

156. *Суханов И. С., Солдатов Е. А.* Результаты экспериментального определения теплоустойчивости ограждений из легких материалов.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1968, № 2, с. 41—43.

157. *Суханов И. С., Девликамова Ф. Ф.* Определение необходимой толщины минераловатного утеплителя в асбестоцементных стеновых панелях в условиях Узбекистана.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1969, № 9, с. 26—29.

158. *Суханов И. С.* Роль наружных ограждений в формировании летнего микроклимата помещений и нормы теплоустойчивости.— Строительство и архитектура Узбекистана, 1970, № 11, с. 14—16.

159. *Суханов И. С., Девликамова Ф. Ф.* Павильонные исследования теплоустойчивости облегченных панелей.— Труды Ташкентского политехнического ин-та, 1971, вып. 45, с. 45—51.

160. *Чаплицкая В. Л.* Расчет легких ограждений с теплоизоляцией из пенопластов на теплоустойчивость в летний период года.— Научные труды НИИСФ, 1967, вып. 2, с. 6—11.

161. *Чаплицкая В. Л.* Теплотехнический расчет алюминиевых панелей, утепленных пенопластом.— Промышленное строительство, 1969, № 4, с. 33—36.

162. *Денисов П. П.* Колебания температуры воздуха в помещении под влиянием гармонических колебаний температуры наружного воздуха.— В кн.: Практические задачи строительной теплофизики крупнопанельных зданий. М., Стройиздат, 1966, с. 32—49.

163. *Денисов П. П.* Расчет колебаний температуры внутренних поверхностей многослойных ограждающих конструкций при гармонических колебаниях температуры наружного воздуха.— В кн.: Успехи строительной физики (Научные труды НИИСФ). 1969, вып. 1 (IX), с. 41—51.

164. *Денисов П. П.* Тепловой режим помещений с многослойными ограждающими конструкциями при гармонических колебаниях температуры наружного воздуха.— В кн.: Успехи строительной физики (Научные труды НИИСФ). 1969, вып. 1 (IX), с. 53—67.

165. *Могутов В. А.* Метод расчета теплового режима зданий.— Научные труды НИИСФ, 1973, вып. 6, с. 15—20.

166. *Могутов В. А., Канышкина З. С.* Применение АВМ для исследования теплового режима и теплоустойчивости зданий.— Научные труды НИИСФ, 1971, вып. 4 (XVII), с. 50—58.

167. *Ивашкова В. К., Канышкина З. С., Некрасов Б. Д.* Влияние коэффициента тепловой инерции ограждающих конструкций зданий на температурный режим в помещениях.— В кн.: Применение достижений современной физики в строительстве. М., Стройиздат, 1967, с. 185—190.

168. *Ивашкова В. К., Канышкина З. С., Могутов В. А.* Метод оценки теплоустойчивости помещений зданий из легких ограждающих конструкций.— В кн.: Теплофизика легких ограждающих конструкций (Научные труды НИИСФ), М., 1973, вып. 6, с. 9—14.

169. *Казанцев И. А.* Особенности теплотехнического расчета помещений с легчайшими ограждениями. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, Л., 1969, 18 с.

170. *Казанцев И. А.* Теплотехнический расчет ограждающих конструкций из эффективных материалов.— В кн.: Полимерные материалы в жилищном и гражданском строительстве на Крайнем Севере. Л., (ЛенЗНИИЭП), 1972, с. 39—54.

171. *Казанцев И. А.* Теплотехнические требования к ограждающим конструкциям с применением легких теплоизоляционных материалов. Л., ЛДНТП, 1975, 26 с.

172. *Иоффе Я. З.* Математическая модель нестационарного теплового режима для зданий малой формы.— В кн.: Тепловая защита и микроклимат малогабаритных жилых зданий на Севере. Л., 1975, с. 16—36.

173. СНиП II-3-79. Строительная теплотехника. М., Стройиздат, 1979. 32 с.

174. ОСТ 20-2-74. Методы проверки теплозащитных качеств и воздухопроницаемости ограждающих конструкций в крупнопанельных зданиях. М., Стройиздат, 1976. 34 с.

175. *Карпов Б. И.* Методические указания по проведению промышленных испытаний ограждений холодильников измерителями тепловых потоков конструкции ЛТИХП. Л., 1972. 26 с.

176. *Васьковский А. П., Шкляров Н. Д., Эпштейн И. Я.* Средства нормализации температурного режима полов в цокольных перекрытиях зданий на Крайнем Севере.— В кн.: Совершенствование крупнопанельного домостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов и сурового климата (Материалы Всесоюз. науч.-техн. совещ.). Красноярск, 1969, с. 151—160.

177. Пособие по проектированию ограждающих конструкций зданий. М., Стройиздат, 1967. 443 с.

178. *Горомосов М. С.* Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование. М., Медгиз, 1963.

179. *Левинсон В.* Дом для Крайнего Севера.— Жилищное стр-во, 1970, № 12, с. 8—9.

180. *Гаврилова М. К.* Климат Центральной Якутии. Якутск, Ки. Изд-во, 1973. 119 с.

181. *Круглова А. И.* Климат и ограждающие конструкции. М., Стройиздат, 1970. 167 с.

182. *Казаков А. Ф., Якимович Д. Т., Жигалкович В. Ф., Ильич Л. И.* Способ уменьшения объемного веса пенополистирола.— Пластические массы, 1972, № 4, с. 36—38.

183. *Розовский В. С., Исакович Г. А.* Получение полистирольного пенопласта ПСБ с уменьшенным объемным весом.— Строительные материалы, 1968, № 1, с. 18—19.

184. *Горбачев Ю. Г., Яхонтова Н. Е., Назаров В. А.* Наполненный полиуретановый пенопласт.— В кн.: Полимерные строительные материалы. М., 1973, вып. 35, с. 68—73.

185. *Безверхий А. А., Метлина А. И.* Определение параметров структуры и их влияние на прочность строительных пенопластов.— В кн.: Технология изготовления конструкций для полнороборного строительства в Сибири. (Сб. научных трудов. СибЗНИИЭП) № 8. Новосибирск, 1974, с. 69—76.

186. *Хрулев В. М., Мартынов К. Я., Крылова И. Н.* Фенольный пенопласт с древесным наполнителем для панельных конструкций.— В кн.: Применение пластмасс в ограждающих конструкциях для жилищного и гражданского строительства. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 18—20.

187. *Каменецкий С. П., Майзель И. Л., Калинин В. И.* Разработка технологии пенопластового утеплителя для сборно-разборных инвентарных зданий.— Сб. научных трудов ВНИИПИ Теплопроект, 1974, вып. 33, с. 66—72.

188. *Зацепин К. С., Шапошников К. И.* Эффективный теплоизоляционный материал ПСФ—ВНИИСТ.— Строительство трубопроводов, 1973, № 4, с. 36—37.

189. *Валгин В. Д., Бородин Н. И.* Мочевиноформальдегидный пенопласт МФП-2.— Пластические массы, 1974, № 10, с. 46—47.

190. *Крашенинников А. Н., Корсунский А. И., Шплет Н. Г.* Эффективные материалы для ограждающих конструкций зданий.— В кн.: Совершенствование крупнопанельного домостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов и сурового климата. М., 1969, с. 252—257.

191. *Шплет Н. Г.* Применение ячеистых пластмасс для теплоизоляции покрытий жилых зданий на Крайнем Севере.— В кн.: Полимерные материалы в жилищном и гражданском строительстве на Крайнем Севере. Л. (ЛенЗНИИЭП). 1972, с. 96—105.

192. *Шплет Н. Г.* Применение карбамидных и фенольных пенопластов в ограждающих конструкциях.— В кн.: Применение пластмасс в ограждающих конструкциях для жилищного и гражданского строительства. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 12—17.

193. *Кауфман Б. Н.* Теплопроводность строительных материалов. М., Госстройиздат, 1955, 158 с.
194. *Шевельков В. Л.* Теплофизические характеристики изоляционных материалов. М., Госэнергоиздат, 1958, 96 с.
195. *Голянд М. М.* Расчеты и испытания тепловой изоляции. Л., Гостехиздат, 1961, 316 с.
196. *Дмитрович А. Д.* Определение теплофизических свойств строительных материалов. М., Госстройиздат, 1963, 204 с.
197. *Чудновский А. Ф.* Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М., Физматгиз, 1962, 456 с.
198. *Чиркин В. С.* Теплопроводность промышленных материалов. М., Машигиз, 1962, 248 с.
199. *Каганер М. Г.* Тепловая изоляция в технике низких температур. М., Машиностроение, 1966, 275 с.
200. *Васильев Л. Л., Фрайман Ю. Е.* Теплофизические свойства плохих проводников тепла. Минск, Наука и техника, 1967, 175 с.
201. *Васильев Л. Л., Танаева С. А.* Теплофизические свойства пористых материалов. Минск, Наука и техника, 1971, 266 с.
202. *Франчук А. У.* Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов. М., 1969, 142 с.
203. *Дудник Д. М., Мельцер Л. З.* Экспериментальное исследование свойств новых пенопластов.—Труды ОТИХП, Одесса, 1961, т. 10, с. 75—86.
204. *Дудник Д. М.* Теплофизические и механические свойства пенополиуретанов.—Холодильная техника, 1964, № 5, с. 26—28.
205. *Дудник Д. М., Степаненко А. Н.* Теплопроводность и температуропроводность изоляционных материалов.—Холодильная техника, 1968, № 1, с. 27—29.
206. *Авдеев Г. К.* Теплотехнические исследования поропластов.—Сборник материалов по результатам научно-исследовательских и экспериментальных работ 1960—1961 гг. М. (МНИИТЭП), 1961, с. 116—122.
207. *Назаров В. А., Авдеев Г. К.* Теплотехнические свойства полимерных материалов в ограждающих конструкциях передвижных домиков для Крайнего Севера.—В кн.: Полимерные строительные материалы. М., 1970, вып. 26 (34), с. 126—135.
208. *Назаров В. А., Авдеев Г. К.* Теплотехнические свойства легких стеновых конструкций.—В кн.: Полимерные строительные материалы. М., 1973, вып. 35, с. 74—83.
209. *Доннер М. С.* Результаты изучения свойств теплоизоляционных материалов при отрицательных температурах.—Сб. научных трудов ВНИПИ Теплопроект, 1966, вып. 1, с. 67—73.
210. *Доннер М. С.* О свойствах низкотемпературных теплоизоляторов.—Сб. научных трудов ВНИПИ Теплопроект, 1971, вып. 14, с. 33—45.
211. *Черепанов В. П., Шапов И. В.* Теплопроводность газонаполненных пластических масс.—Пластические массы, 1974, № 10, с. 53—55.
212. *Кудрячева Г. М., Кожевников И. Г.* Теплофизические характеристики пенопластов при 90—360°К.—Пластические массы, 1974, № 5, с. 39—41.
213. *Новицкий Л. А., Кожевников И. Г.* Теплофизические свойства материалов при низких температурах. Справочник. М., Машиностроение, 1975, 216 с.
214. *Емченко М. П., Крашенинников А. Н., Оборин Л. А., Казанцев И. А.* Теплотехнические свойства фенольного поропласта ФЛ-1.—Строительные материалы, 1968, № 5, с. 35—36.
215. *Казанцев И. А., Шплет Н. Г.* Теплопроводность фенольных и карбамидных ячеистых пластмасс.—В кн.: Применение ячеистых пластмасс в гражданском строительстве. Л. (ЛенЗНИИЭП), 1973, с. 46—50.
216. *Казанцев И. А., Зорянинов В. Д.* Теплопроводность ячеистых пластмасс.—В кн.: Применение пластмасс в ограждающих конструкциях для жилищного и гражданского строительства, Л. (ЛенЗНИИЭП), 1975, с. 63—66.

217. *Хлевчук В. Р., Репьев Э. Н., Заволока М. В.* Теплопроводность новых изоляционных материалов в суровых условиях эксплуатации ограждающих конструкций.—Научные труды НИИСФ, М., 1979, вып. 22 (XXXVI), с. 31—35.
218. *Воробьев В. А., Андрианов Р. А.* Полимерные теплоизоляционные материалы. М., Стройиздат, 1972, 320 с.
219. *Романенков И. Г.* Физико-механические свойства пенных пластмасс. М., Изд. ком-та стандартов, 1970, 128 с.
220. *Годило П. В., Патуров В. В., Романенков И. Г.* Беспористые пенопласты в строительных конструкциях. М., Стройиздат, 1969, 172 с.
221. *Кауфман Б. Н., Косырева З. С., Шмидт Л. М., Яхонтова Н. Е.* Строительные поропласты. М., Стройиздат, 1965, 174 с.
222. *Умняков П. Н.* Теплотехнические свойства навесных легких конструкций. М., Стройиздат, 1970, 174 с.
223. *Хлевчук В. Р., Артыкпаев Е. Т.* Теплотехнические и звукоизоляционные качества ограждений домов повышенной этажности. М., Стройиздат, 1979, 255 с.
224. *Пак Н. В.* Сравнительная оценка теплопроводности влажных капиллярнопористых материалов при температурах ниже и выше 0°С.—ИФЖ, 1967, т. 12, № 1, с. 68—71.
225. *Пак Н. В.* Влияние влажности на теплопроводность при отрицательной температуре.—Строительные материалы, 1968, № 8, с. 35—36.
226. *Колпаков С. В., Абрамова Н. Г., Метлина А. И.* Пенопласт на основе фенолформальдегидной смолы марки Б.—В кн.: Строительство на вечномёрзлых грунтах. Красноярск, 1968, т. 5, вып. 1, с. 186—200.
227. *Галактионов А. В.* Полимерные ячеистые материалы (Производство и применение в строительстве). Л., ЛДНТП, 1964, 26 с.
228. *Крашенинников А. Н.* Монолитная теплоизоляция из ячеистых бетонов и пластмасс. Л., Стройиздат, 1971, 183 с.
229. *Дементьев А. Г., Невский Л. В., Заломов Ю. Л., Значительский В. П., Михеева И. И.* Изменение свойств пенополиуретана в реальных условиях эксплуатации.—Пластические массы, 1972, № 10, с. 49—51.
230. *Калинин В. И., Майзель И. Л.* Исследование некоторых свойств пенополиуретана и применение его для теплоизоляции.—Сб. научных трудов ВНИПИ Теплопроект, 1970, вып. 11, с. 36—43.
231. *Лыков А. В.* Теплообмен. М., Энергия, 1978, 479 с.
232. *Лыков А. В.* Теоретические основы строительной теплофизики. Минск, Изд-во АН БССР, 1961, 519 с.
233. *Франчук А. У.* Роль теплопроводности и температуропроводности в режиме ограждающих конструкций.—В кн.: Исследования по строительной теплотехнике и климатологии. М., Госстройиздат, 1962, с. 34—39.
234. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. М., Высшая школа, 1967, 600 с.
235. *Сергеев О. А.* Метрологические основы теплофизических измерений. М., Изд-во стандартов, 1972, 155 с.
236. *Шамаева А. П.* Теплофизические характеристики некоторых изоляционных материалов.—В кн.: Тепло- и массообмен во влажных материалах. Якутск, изд. ЯФ СО АН СССР, 1975, с. 48—55.
237. *Никитина Л. М.* Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. М., Энергия, 1968, 499 с.
238. *Ценник № 1* зональных сметных цен на материалы, изделия и конструкции для строек Якутской и Алданской строительных зон. Т. 1. Якутск, 1970, 238 с.
239. *Прейскурант 05-01.* Оптовые цены на химическую продукцию. Ч. II. Синтетические смолы и пластические массы. М., Прейскурантиздат, 1974, 143 с.
240. *Юргенсон Л. К.* Тепловая экономика жилого здания. М.-Л., 1949.
241. *Богуславский Л. Д.* Экономика теплозащиты зданий. М., Стройиздат, 1971, 111 с.

242. Шаповалов И. С., Беляновский С. И. Тепловая эффективность жилых зданий (Экономическая целесообразность и возможность снижения расходов тепла). М., ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1967. 55 с.

243. Янкелев Л. Ф. Проблемы теплоизоляции зданий.— Жилищное строительство, 1971, № 11, с. 24—25.

244. Hennessy R. L. Optimum wall insulation for cold climates.—Proc. Amer. Civil Engrs., 1977, IX, vol. 103, NCO3, p. 529—535.

245. Penovar W, E, Williams F, E, Survey of U. S. residential insulation industry capacity and projections for retrofitting U. S. housing inventory.—Construction Review, 1977, VIII—IX, vol. 23, № 5, p. 4—14.

246. Tremblay D. Sachez tenir vorte maison au chaud.—Habitat, 1977, vol. 20, №1, p. 5—9.

247. Löchner M., Rovar I., Wagner H. Die Nachweis—methoden für den energiesparenden. Wärmeschutz bei Gebäuden.—WKSБ, 1977, XII, s. 2—6.

248. Reglementation thermique moins sévère pour l'habitat ancien.—Batiment—Bair, 1978, № 3 p. 41—44.

249. Прейскурант 06-15-01. Оптовые цены на теплоизоляционные материалы. М., Прейскурантиздат, 1975. 82 с.

250. Прейскурант 03-01. Оптовые цены на уголь, сланцы, продукты обогашения углей и брикеты. М., Прейскурантиздат, 1974. 30 с.

251. Прейскурант 13-01-01. Единые тарифы на перевозку грузов автомобильным транспортом. М., Прейскурантиздат, 1973. 53 с.

252. СНиП II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М., Стройиздат, 1976. 111 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Введение	7
Глава 1. Современное состояние вопроса	
§ 1. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации малозэтажных жилых зданий с легкими ограждающими конструкциями на Крайнем Севере	10
§ 2. Существующие методы расчета теплозащитных свойств и теплоустойчивости легких ограждающих конструкций	18
Глава 2. Натурные исследования теплозащитных свойств и теплоустойчивости легких ограждающих конструкций	34
§ 1. Методика натурных исследований	34
§ 2. Результаты натурных исследований и их анализ	36
Экспериментальное здание из объемных элементов в г. Якутске	36
Двухквартирные жилые здания из деревянных панелей в пос. Марха ЯАССР	51
Двадцатичетырехквартирный панельный жилой дом и общежитие на 50 мест из деревянных объемных элементов в пос. Сангар ЯАССР	60
Двенадцатиквартирный жилой дом из деревянных панелей в г. Якутске	70
Экспериментальный восьмиквартирный жилой дом из клефанерных панелей в пос. Табага ЯАССР	77
Глава 3. Экспериментальные исследования теплофизических характеристик полимерных теплоизоляционных материалов	97
§ 1. Анализ литературных данных по теплофизическим свойствам пенопластов	97
§ 2. Методика определения теплофизических характеристик пенопластов	106
§ 3. Результаты экспериментов и их анализ	110
Глава 4. Численные исследования теплоустойчивости легких ограждающих конструкций жилых зданий	119
§ 1. Влияние условий теплообмена на теплоустойчивость ограждений	120
§ 2. Влияние теплофизических характеристик и толщины утеплителей на теплоустойчивость легких ограждающих конструкций	124
§ 3. Совместный учет коэффициентов тепло- и температуро-	

	проводности утеплителей при проектировании легких ограждающих конструкций	130
§ 4.	Теплоустойчивость легких ограждающих конструкций при сочетании утеплителей с различными теплофизическими характеристиками	135
Глава 5.	Технико-экономическая эффективность повышения теплозащитных свойств легких ограждающих конструкций жилых зданий в районах Центральной Якутии	141
§ 1.	Выбор экономически оптимального сопротивления теплопередаче стеновых ограждающих конструкций	141
§ 2.	Экономия тепловой энергии при эксплуатации малоэтажных зданий с ограждающими конструкциями повышенной теплозащиты	150
Литература		156

Анатолий Тихонович Тимошенко

**ТЕПЛОЗАЩИТА И ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕГКИХ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

НА СЕВЕРЕ. Якутск: Кн. изд-во, 1981—172 с., ил. (АН СССР. Сиб. отд.-ние. Якут. филиал. Ин-т физ.-техн. проблем Севера).

Редактор Р. В. Тирская
Редактор изд-ва З. Р. Васильева
Худ. ред. П. П. Соловьев
Техн. ред. М. Т. Егорова
Корректор У. Т. Гордеева

Сдано в набор 10.06.80. Подписано в печать 11.02.81. МЛ 07055. Формат бумаги 60x90^{1/16}. Бумага № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. п. л. 10,75. Уч.-изд. л. 11,67. Тираж 500 экз. Заказ № 163. Цена 70 коп. «Заказное».

Якутское книжное издательство
Якутск, Чайковского, 26/2

Якутская республиканская типография имени Ю. А. Гагарина
Якутск, Кирова, 9