

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»

На правах рукописи

Колесник Инна Александровна

УДК 628.87:658.3:697.1

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРИ
АВАРИЙНО-ДЕФИЦИТНЫХ СИТУАЦИЯХ
В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

05.26.01 – охрана труда

Диссертация на соискание научной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Беликов А.С.

Днепропетровск - 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	13
1.1. Вредные и опасные факторы среды. Влияние параметров микrokлимата на здоровье и условия труда	13
1.1.1. Влияние неблагоприятных условий микrokлимата на организм человека	15
1.2. Влияние теплоустойчивости зданий и сооружений на микrokлимат помещений	20
1.3. Основные средства контроля условий теплообмена ограждающих строительных конструкций с внешней и внутренней средой	28
1.4. Выводы по разделу 1	35
РАЗДЕЛ 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И СРЕДЫ ЗАМКНУТОГО ПРОСТРАНСТВА	36
2.1. Теоретические исследования условий теплообмена строительных конструкций с окружающей средой с использованием кольцевого нагревателя	36
2.2. Разработка конструкции кольцевого датчика для исследования теплообмена ограждающих строительных конструкций с окружающей средой	46
2.3. Теоретические исследования теплообмена строительных конструкций с окружающей средой с применением плоского нагревателя	51
2.4. Определение начальных и граничных условий применения датчиков при изменении теплотехнических свойств строительных конструкций в процессе эксплуатации	56
2.5. Выводы по разделу 2	67

РАЗДЕЛ 3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ПРИ АВАРИЙНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	69
3.1. Исследование охлаждения внутренних поверхностей помещений при аварийном отключении системы теплоснабжения	69
3.2. Исследование изменения температуры внутреннего воздуха и оценка времени охлаждения помещений из стационарного состояния	89
3.3. Исследование динамики охлаждения помещений после отключения системы отопления для эталонного помещения	117
3.4. Выводы по разделу 3	123
РАЗДЕЛ 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРИ АВАРИЙНО-ДЕФИЦИТНЫХ СИТУАЦИЯХ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ВЕТРА	126
4.1. Исследование динамики охлаждения внутренней поверхности ограждений после отключения системы отопления с учётом солнечной радиации и ветра	126
4.2. Исследование динамики охлаждения воздуха помещения после отключения системы отопления с учётом солнечной радиации и ветра	153
4.3. Выводы по разделу 4	177
РАЗДЕЛ 5 ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	179
5.1. Влияние внешних факторов на микроклимат помещений жилых зданий	179
5.2. Оценка условий микроклимата с учетом теплоустойчивости помещений при аварийных режимах теплоснабжения	181
5.2.1. Расчет теплоустойчивости помещений при резервном или дефицитном теплогазоснабжении	183
5.2.2. Расчёт теплоустойчивости помещений при резервном и дефицитном теплогазоснабжении с учётом солнечной радиации и ветра	185
5.2.3. Управление процессом обеспечения параметров микроклимата с применением «прерывистого» режима отопления	187

(«натоба») при аварийном отключении систем теплоснабжения	
5.3. Внедрение результатов исследования	192
5.4. Выводы по разделу 5	196
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	197
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	199
ПРИЛОЖЕНИЯ	215
Приложение А. Закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки для 6 типов зданий при отключении системы теплоснабжения	216
Приложение Б. Закономерности изменения температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температуры для 6 типов зданий при выходе из стационарного состояния	222
Приложение В. Закономерности времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до критических температур при отключении системы теплоснабжения	233
Приложение Г. Время охлаждения эталонного помещения для температуры наружного воздуха $t_n = - 23 \text{ }^\circ\text{C}$ при отключении системы отопления	235
Приложение Д. Время охлаждения эталонного помещения для температуры наружного воздуха $t_n = - 5,4 \text{ }^\circ\text{C}$ при отключении системы отопления	237
Приложение Е. Время охлаждения внутреннего воздуха эталонного помещения с учетом коэффициента теплоаккумуляции ограждающих конструкций при отключении системы теплоснабжения для $t_n = - 23 \text{ }^\circ\text{C}$	239
Приложение Ж. Интенсивность охлаждения внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для ноября, января, марта месяцев отопительного периода с учетом солнечной радиации	241
Приложение З. Интенсивность охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона (I тип) и железобетона (III тип) при отключении системы теплоснабжения для месяцев отопительного периода с учетом	

солнечной радиации	249
Приложение И. Интенсивность охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в ноябре, в январе, в марте месяцах отопительного периода	253
Приложение К. Интенсивность охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра для месяцев отопительного периода	257
Приложение Л. Времени охлаждения внутреннего воздуха эталонного помещения с учетом солнечной радиации и ветра в январе месяце.	263
Приложение М. Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_{\theta} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и до $t_{\theta} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ с учетом воздействия солнечной радиации и ветра в январе при отключении системы теплоснабжения	267
Приложение Н. Акт внедрения результатов исследований	270

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Для обеспечения необходимых условий микроклимата помещений зданий и сооружений в зимний период предусмотрена работа системы отопления. Проведенный анализ работы систем теплоснабжения г. Днепропетровска, как жизненно важного процесса обеспечения необходимых параметров микроклимата помещений в отопительный период показал, что физический износ подземных коммуникаций, неопределенность и нестабильность в работе энергосистем приводит к возникновению аварийных и дефицитных ситуаций.

Это, в свою очередь ведет к снижению теплоустойчивости зданий, к ряду достаточно неблагоприятных явлений, нарушающих тепловой режим и комфорт в помещениях, а в некоторых случаях к весьма вредным для здоровья человека и сохранности здания последствиям.

Так, в результате аварии в тепловых сетях четырех городских котельных 7 ноября 2006 года без теплоснабжения в Днепропетровске осталось 12 домов в центральной части города, где проживает около трех тысяч жителей. В результате аварии был на значительное время утерян контроль над режимом обеспечения микроклимата в домах, что привело к созданию дискомфортных условий для значительного количества жителей города и создана потенциальная опасность для выхода из строя инженерных сетей. В Днепропетровске насчитывается 4249 домов, в их числе ведомственное жилье, жилищно-строительные кооперативы и дома местных советов. Всего в городе 589 котельных. Днепропетровск обслуживают четыре теплоснабжающие организации.

Согласно проведенному анализу такие отключения, к сожалению, не единичны и приводят к выходу температуры воздуха в помещениях и охлаждению внутренней поверхности ограждающих конструкций в закритическое состояние. Поэтому возникла необходимость в повышении безопасности жизнедеятельности за счет обеспечения параметров микроклимата при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнялась с учетом научно-исследовательских тем Министерства образования и науки Украины: «Розробка і дослідження методів і

пристроїв удосконалення мікроклімату з метою зниження енергоспоживання» (№ держреєстрації 0106U005344) 2006 – 2010 г. и «Системний аналіз енергозберігаючих та екологоорієнтованих систем і технологій життєзабезпечення з метою захисту людини від шкідливих факторів» (№ держреєстрації 0111U006479), 2011 – 2015 г., которые в полной мере отвечают Национальной программе «Концепція загальнодержавної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища на 2006 – 2011 рр.» и «Концепція загальнодержавної цільової програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці і виробничого середовища на 2012 – 2016 рр.».

Цель и задачи исследования. Цель работы – повышение безопасности жизнедеятельности за счет обеспечения параметров микроклимата при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие научно-технические задачи:

- провести анализ влияния параметров микроклимата на безопасность жизнедеятельности с учетом теплоустойчивости зданий и сооружений;
- на основании теоретических и экспериментальных исследований провести обоснование применения датчика с кольцевым и плоским нагревателем для определения теплотехнических свойств строительных ограждающих конструкций;
- провести исследования теплотехнических свойств строительных ограждающих конструкций в процессе длительной эксплуатации для наиболее распространенных зданий в г. Днепропетровске;
- провести исследования динамики охлаждения внутреннего воздуха, внутренней поверхности наружной стенки и градиента температуры в зависимости от типа зданий в процессе длительной эксплуатации строительных ограждающих конструкций;
- установить зависимости изменения температуры внутреннего воздуха и температуры внутренней поверхности стенки помещений с учетом типа здания, применяемых ограждающих конструкций, влияния солнечной радиации и ветрового воздействия при отключении системы теплоснабжения;
- провести исследования и установить время достижения критических температур микроклимата и работы инженерных сетей для различных типов зданий с

различными коэффициентами теплоаккумуляции для холодной пятидневки и отопительного периода;

- внедрить полученные результаты исследований на предприятиях с учетом применяемых строительных ограждающих конструкций при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Объект исследования – влияние процессов теплообмена строительных конструкций с окружающей средой на параметры микроклимата в помещениях при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Предмет исследования – микроклимат в помещениях зданий и сооружений.

Методы исследования – теоретические и экспериментальные исследования проводились на основе фундаментальных знаний в области тепловых процессов и методик решения задач теплообмена, моделирования динамических процессов, метода и анализа случайных процессов, методов математической статистики и прогноза.

Научная новизна полученных результатов:

– впервые на основании теоретических и экспериментальных исследований проведено обоснование применения датчика с кольцевым и плоским нагревателем для определения теплотехнических свойств строительных ограждающих конструкций;

– в результате проведенных исследований установлено, что в процессе воздействия окружающей среды и климатических условий при длительной эксплуатации в строительных конструкциях вследствие структурных изменений (уплотнение, перестройка минералогического состава, карбонизации, миграции влаги и т.д.) происходят значительные изменения теплотехнических характеристик от первоначальных, что снижает их термическое сопротивление и существенно влияет на обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении (изменение коэффициента теплопроводности в сторону увеличения от 20,7% до 48,6%);

– на основании проведенных исследований для 6 типов зданий установлено, что в процессе длительной эксплуатации строительных ограждающих конструкций возрастает динамика охлаждения температуры внутренней поверхности наружной стенки, при этом, градиент температуры увеличивается в среднем от 3°С до 5°С в зависимости от типа зданий. Установлены зависимости, которые позволяют

прогнозировать изменения температуры внутренней поверхности стенки с учетом типа здания и применяемых строительных материалов ограждающих конструкций при отключении системы теплоснабжения, что позволяет управлять режимом теплоснабжения;

– установлена взаимосвязь динамики температуры внутреннего воздуха помещения на температурный градиент по отношению к температуре внутренней поверхности ограждающих конструкций, что позволяет управлять процессом поддержания параметров микроклимата до достижения критических температур внутреннего воздуха помещений с учетом выполняемых работ по степени тяжести и критических значений температур для эксплуатации инженерных коммуникаций;

– впервые проведенные исследования позволили установить время достижения критических температур микроклимата и работы инженерных сетей для различных типов зданий при различных коэффициентах теплоаккумуляции при температурах наружного воздуха – холодной пятидневки и месяцев отопительного периода;

– на основе теоретических и экспериментальных исследований были получены зависимости изменения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций, которые позволяют управлять процессом обеспечения параметров микроклимата помещения с учетом типа здания, влияния солнечной радиации и ветра при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения.

Практическое значение полученных результатов состоит в:

– в результате проведенных исследований выполнено научное и экспериментальное обоснование применения датчиков с кольцевым и плоским нагревателями, что дает возможность производить измерение теплотехнических свойств строительных материалов, непосредственно в строительных конструкциях эксплуатируемых зданий и сооружениях, и определены граничные условия их применения с учетом ошибки измерения до 5%;

– впервые проведены исследования теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций в процессе длительной эксплуатации (более 10 лет) для шести типов наиболее распространенных зданий в г. Днепропетровске с применением следующих материалов: керамзитобетон, керамический пустотелый кирпич, тяжелый бетон, полнотелый глиняный обыкновенный кирпич, силикатный

кирпич, бетон на гравии из природного камня;

– проведенные исследования изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций расчетным и экспериментальным методами показали высокую их сходимость (погрешность не превышает 5%), что позволяет применять предложенный экспериментальный метод для экспресс оценки теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций;

– внедрение результатов исследований по контролю и обеспечению необходимых условий микроклимата помещений на производстве позволили установить зависимости, которые позволяют определить величину относительной резервной теплоподачи и время восстановления нормального теплоснабжения при различной теплоаккумулирующей способности ограждающих конструкций зданий и сооружений с учетом обеспечения необходимых параметров микроклимата помещений;

– для контроля температуры внутреннего воздуха в период охлаждения и своевременного включения системы резервно-прерывистого отопления при достижении минимальной температуры разработана автоматизированная система контроля и подачи тепловой энергии, которая внедрена на предприятии – торговом комплексе АТБ;

– использование в учебном процессе по дисциплине «Строительная теплофизика» для студентов направления подготовки 6.060101 «Строительство» специального вида деятельности «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Личный вклад соискателя. Автором диссертации сформулированы цель, задачи исследований, научные положения и выводы.

В публикациях в полной мере изложен материал диссертационной работы. Во всех опубликованных трудах Колесник И.А. изложены главные результаты теоретических и практических исследований. Личный вклад в них автора соответствует высокому уровню исследовательской деятельности.

Конкретный личный вклад диссертантом в получении научных результатов, выносимых на защиту, опубликованных с соавторами, заключается в следующем:

– выполнен анализ научно-технической и патентной литературы в области микроклимата в помещениях при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения;

– в результате проведенных исследований выполнено научное и экспериментальное обоснование применения датчиков с кольцевым и плоским нагревателями и определены граничные условия их применения;

– выполнены экспериментальные исследования параметров микроклимата помещений для шести видов ограждающих конструкций зданий;

– найдены закономерности динамики охлаждения внутреннего воздуха и внутренних поверхностей ограждений помещений при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения;

– разработана методика определения времени охлаждения внутреннего воздуха в зависимости от коэффициента аккумуляции тепла ограждающих конструкций при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения;

– разработана методика определения времени охлаждения внутреннего воздуха в зависимости от коэффициента аккумуляции тепла ограждающих конструкций с учетом солнечной радиации и ветровой действия при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения диссертационной работы изложены и обсуждены на V Международном симпозиуме «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке» (Днепропетровск, 2005 г.); VIII Международной научно-практической конференции «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України» (Запорожье, 2012г.); VII международной XIII Традиционной научно-практической конференции с участием молодых ученых «Экологический интеллект - 2012» посвященной памяти профессора Плахотника В.М. (Днепропетровск, 2012г.); международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной аграрной науки» (Умань, 2013); международной научной конференции «Математические проблемы технической механики 2015» (Днепродзержинск, 2015); международном научном симпозиуме «Неділя еколога – 2015». (Днепродзержинск,

2015), научных семинарах и совещаниях кафедр безопасности жизнедеятельности и отопления, вентиляции и качества воздушной среды ГВУЗ «ПГАСА» (2003-2015 гг.).

Публикации. Результаты работы опубликованы в 13 научных работах, а именно 5 статей, входящие в перечень профессиональных научных изданий, из них 1 статья в издании Украины, которое включено в международные наукометрические базы, 7 тезисов докладов, 1 монография.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы, приложений. Общий объем диссертации составляет 280 страниц. Помимо основного текста, изложенного на 186 страницах, диссертация содержит 101 рисунок, 34 таблицы, список использованных источников из 171 наименования на 15 страницах и приложения на 64 страницах.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1.1. Вредные и опасные факторы среды. Влияние параметров микроклимата на здоровье и условия труда

Человек проводит в помещении до 80-90% времени суток. Из них 40% времени он находится на рабочем месте, следовательно, факторы окружающей среды, как его жилья, так и места работы, оказывают влияние на организм человека и его уровень работоспособности [1-4, 6, 7]. На сегодняшний день перечень реально действующих негативных факторов как производственной среды, так бытовой и природной насчитывает более 100 видов [1, 5, 6].

Согласно ГОСТ 12.0.003-74* «Опасные и вредные производственные факторы», факторы среды подразделяются на следующие группы: физические, химические, биологические, психофизиологические [8].

В зависимости от характера негативного воздействия на организм человека их принято рассматривать как вредные. Согласно ДСН «Гігієнічна класифікація» вредные факторы – это факторы, которые отрицательно влияют на работоспособность людей и их психо-эмоциональное состояние и/или, вызывают профессиональные либо не связанные с профессией хронические заболевания либо приводят к другим вялотекущим отрицательным последствиям для здоровья человека.

Основными факторами, определяющими и характеризующими санитарно-гигиеническую среду, являются: температурно-влажностный режим в помещениях, запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, освещенность рабочих мест, уровень шума и вибрации, размеры площади и объема производственных помещений на одного рабочего, уровень санитарно-бытового и культурного обслуживания, уровень эргономической и научной организации рабочего места, режим труда и отдыха, эстетическое оформление цехов и территории предприятия.

Производительность труда и общее самочувствие работающих находится в прямой зависимости от условий среды и может снижаться из-за отклонений от оптимальных параметров шума (до 20%), вибрации (до 11%), недостаточной освещенности (до 20%), метеорологических условий (до 15-20%), интенсивного теплового облучения, запыленности и прочее [3, 7, 8].

Ученым Пырковым В.В. на рис. 1.1 представлены основные микроклиматические условия, влияющие на организм как в жилом, так и в рабочем помещениях.

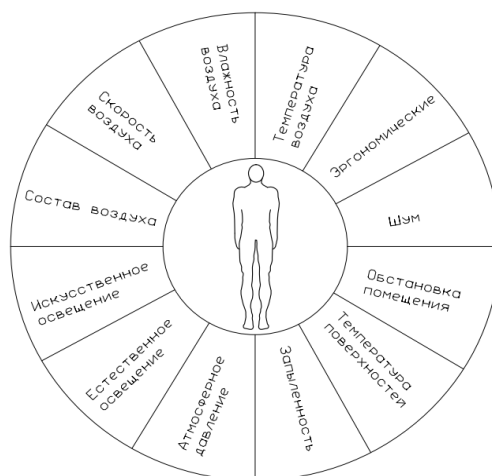


Рис. 1.1. Микроклиматические условия, влияющие на жизнедеятельность человека в помещении [4]

Среди основных параметров, характеризующих микроклимат помещения, следует выделить: температуру, влажность, скорость движения воздуха, температуру ограждающих конструкций и технологического оборудования, барометрическое давление, которые оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на жизнедеятельность человека в зависимости от их комбинации, качественного и количественного соотношений.

Поэтому одним из необходимых условий производительности труда, жизнедеятельности человека является обеспечение оптимальных микроклиматических условий на рабочем месте. Микроклимат в помещении зависит от ряда вышеперечисленных факторов: особенностей ограждающих поверхностей рабочего пространства, теплофизических, энергетических особенностей технологического процесса, климатических условий сезонов года, вида и способа отопления, вентиляции,

параметров внутренней воздушной среды, так как воздух находится в переменном состоянии в зависимости от указанных факторов и т.д. [5, 6, 9].

Проведенный нами анализ негативных влияний (рис.1.1) показал, что микроклимат оказывает значительное воздействие на жизнедеятельность человека. При этом, условия теплообмена человек – окружающая среда в рабочем пространстве определяют в значительной мере безопасную жизнедеятельность человека.

1.1.1. Влияние неблагоприятных условий микроклимата на организм человека.

С изменением параметров микроклимата или условий труда нарушаются условия теплового баланса в помещении. В этом случае в организме человека возникают процессы, способствующие восстановлению теплового баланса за счет процессов терморегуляции. К таким процессам относятся процесс испарения, изменение интенсивности кровообращения (за счет расширения и сужения сосудов) и биохимический процесс (изменение интенсивности окислительных процессов в организме). Терморегуляция позволяет обеспечить жизнедеятельность человека, но это связано со значительными затратами энергии организмом человека [5, 10, 12, 18].

Таким образом, при изменении температурной среды человеческий организм находится в постоянном взаимодействии с окружающей средой. Изменение условий микроклимата приводит к автоматическому реагированию на все изменения температурного и влажностного режима. Тепловые ощущения в большей или меньшей степени всегда отличаются от нормативных среднестатистических показателей микроклимата в помещении. Неудовлетворенность может являться результатом теплого или прохладного дискомфорта тела в целом, который характеризуют ожидаемым значением теплоощущения PMV (Predicted Mean Vote) и прогнозируемым процентом неудовлетворенности PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Субъективное состояние психологического теплоощущения человека оценивают следующей шкалой (рис. 1.2) значений PMV:

Эти показатели в мировой практике используют совместно с нормированными параметрами микроклимата для оценки работоспособности системы отопления или кондиционирования воздуха с учетом обеспечения жизнедеятельности в зависимости от вида деятельности работников.

Холодно	Прохладно	Слегка прохладно	Нормально	Слегка тепло	Тепло	Жарко
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Рис. 1.2. Шкала оценивания психологического теплоощущения человека

Под оптимальной температурой помещения t_{su} подразумевают комплексный показатель радиационной температуры помещения t_r и температуры воздуха в помещении t_g , позволяющий прогнозировать удовлетворенность тепловым комфортом не менее 90 % людей при умеренной (рекомендуемой) подвижности воздуха. Для большинства помещений этот показатель определяют уравнением:

$$t_{su} = (t_r + t_g) / 2 \quad (1.1)$$

где t_r - радиационная температура помещения, °С;

t_g - температура внутреннего воздуха, °С.

Физиологический смысл уравнения заключается в поддержании стабильного теплообмена между человеком и окружающей средой ($Q=\text{const}$) [3, 4, 6, 19, 23]. Воздействие микроклиматических факторов отражается на теплоощущении человека и обуславливает особенности физиологических реакций организма. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо к переохлаждению организма и, как следствие, к потере трудоспособности, быстрой утомляемости, потере сознания, ухудшению здоровья и тепловой смерти. Температурные воздействия, выходящие за пределы нейтральных колебаний, вызывают изменения тонуса мышц, периферических сосудов, деятельности потовых желез. Как показывают исследования при отклонении параметров микроклимата от допустимых значений часто возникают аллергические заболевания, расстройства центральной нервной системы, вирусные инфекции и др. [25, 29, 30, 37].

Тепловое состояние человека и его работоспособность зависит от воздействия всех нормируемых параметров микроклимата. От значения температуры воздуха помещения во многом зависит здоровье и работоспособность человека (рис. 1.3). Однако поддержание температурного режима достигается значительными энергозатратами (нагрев или охлаждение), что отражается на собственном бюджете,

бюджете семьи и государства, поэтому поддержание теплового комфорта является как государственной задачей, так и задачей каждого человека.

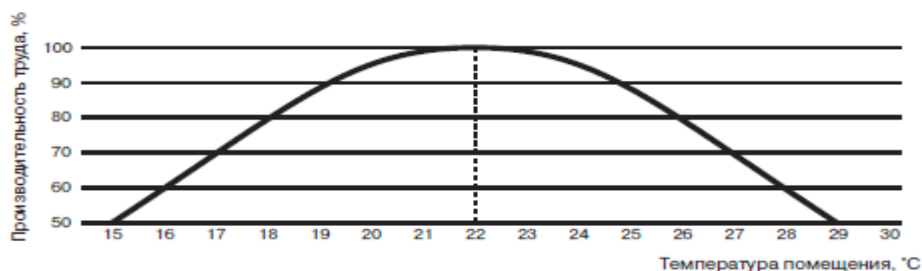


Рис.1.3. Влияние температуры помещения на производительность труда человека [4]

Помимо очевидного влияния на человека температуры воздуха в помещении, существует влияние лучистого излучения. Оно исходит от технологического оборудования, находящегося в рабочем пространстве помещения, и за счет инсоляции. Таким образом, важно поддерживать оптимальное соотношение между средней радиационной температурой и температурой воздуха в помещении, как показано на рис. 1.4 [9].

Избыточная интенсивность теплового облучения в сочетании с высокой температурой воздуха оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека. Тепловое облучение интенсивностью до допустимого уровня 140 Вт/м^2 не вызывает неприятного ощущения, при 1050 Вт/м^2 уже через 3...5 мин на поверхности кожи появляется неприятное жжение (температура кожи повышается на $8...10 \text{ }^\circ\text{C}$), а при 3500 Вт/м^2 через несколько секунд возможны ожоги. При облучении интенсивностью $700...1400 \text{ Вт/м}^2$ частота пульса увеличивается на 5...7 ударов в минуту. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется в первую очередь температурой кожи, болевое ощущение появляется при температуре кожи $40...45 \text{ }^\circ\text{C}$ (в зависимости от участка тела).

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая относительная влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек, кожных покровов работающего человека [8, 22, 36-46].

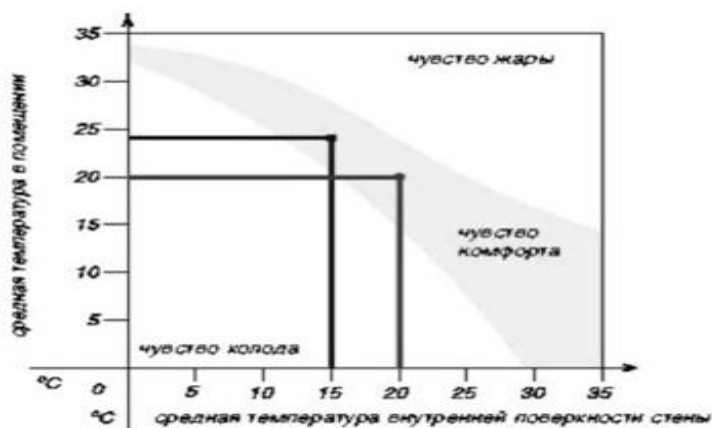


Рис. 1.4. Оптимальное соотношение температуры воздуха и средней радиационной температуры в помещении

Влажность воздуха оказывает существенное влияние на большинство процессов, которые могут происходить в микроклимате помещения: размножение бактерий, вирусов и пылевых клещей, образование грибков, развитие инфекций дыхательных путей и аллергии, интенсификации разрушения стройматериалов. На рис. 1.5 приведена диаграмма зависимости интенсивности протекания негативных для человека и строительных конструкций процессов в помещении от относительной влажности воздуха [9].

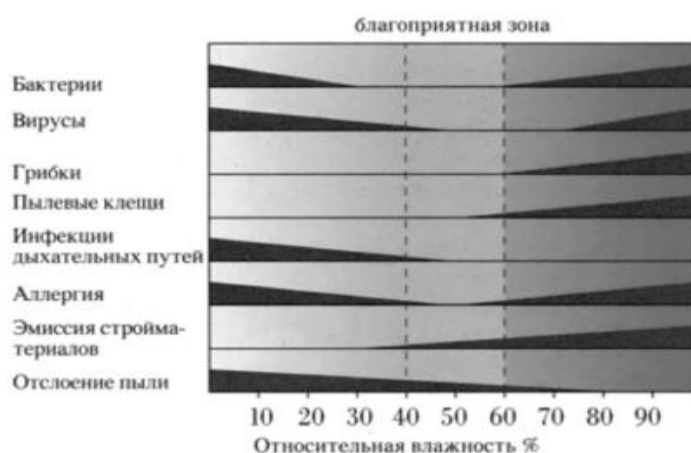


Рис. 1.5. Диаграмма зависимости интенсивности протекания негативных для человека и строительных конструкций процессов в помещении от относительной влажности воздуха

В создании теплового комфорта в помещении "участвует" подвижность воздуха. Например, малая подвижность или отсутствие движения воздуха создают впечатление затхлости в помещении, возникает дискомфорт, т. к. вокруг тела

человека образуется тонкая воздушная оболочка, имеющая высокую температуру и насыщенная водяными парами. В результате затрудняется тепло- и влагообмен с окружающей средой. Минимальная подвижность воздуха, разрушающая эту оболочку, по данным разных авторов, составляет 0,05-0,1 м/с. Чрезмерная подвижность воздуха вызывает ощущение сквозняка. Из-за охлаждающего воздействия движущегося воздуха нарушается тепловосприятие кожного покрова, причем как только эффект охлаждения превысит некоторое критическое значение, сосуды начинают сужаться, что замедляет кровообращение и может вызвать повышение артериального давления. Наиболее подвержены воздействию сквозняка затылок, лодыжки и конечности. Область комфортного сочетания подвижности и температуры воздуха приведена на рис. 1.6.

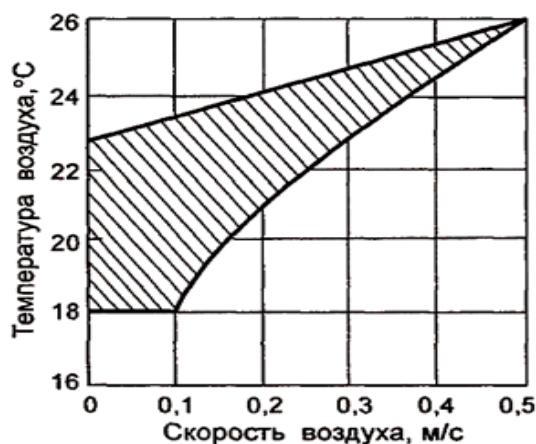


Рис.1.6. Область комфортного сочетания подвижности и температуры воздуха [10]

Комплексную оценку состояния микроклимата при применяющихся параметрах можно провести по величине эквивалентно-эффективной температуры рис. 1.7 (сочетание трех параметров микроклимата) [43, 46, 49, 60-64]. Их сочетание может создавать комфортные или дискомфортные микроклиматические условия, которые определяют самочувствие, здоровье и работоспособность человека на производстве и в быту [53, 54].

Исходя из проведенного анализа следует, что обеспечение микроклимата с учетом требований ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» является необходимым условием для сохранения здоровья и продолжительности трудовой деятельности человека.

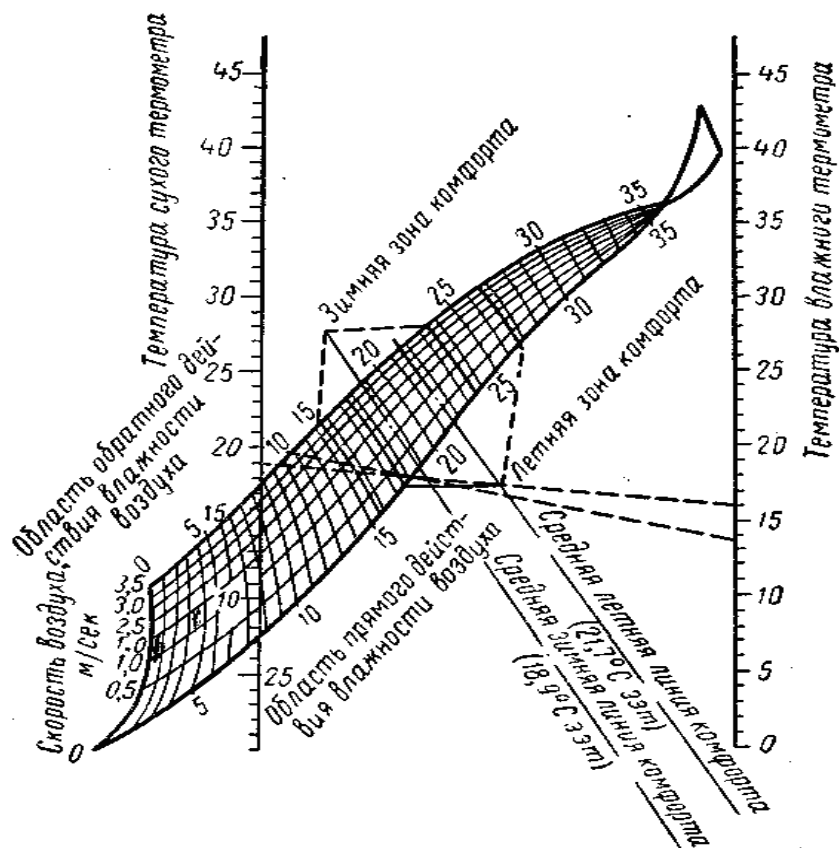


Рис. 1.7. Номограмма микроклиматических параметров в рабочей зоне

1.2. Влияние теплоустойчивости зданий и сооружений на микроклимат помещений.

Выполнение необходимых условий микроклимата с учетом вида деятельности во многом зависит от теплового режима зданий, который определяется совокупностью всех факторов и процессов, протекающих в помещениях, а безопасность жизнедеятельности человека в значительной степени определяется условиями микроклимата в помещении.

Согласно ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» необходимо стремиться к созданию в среде обитания человека оптимальных микроклиматических условий. Их обычно называют комфортными [24, 25, 26, 27], так как создают наиболее благоприятные условия для деятельности человека.

Проведенными исследованиями [17, 26, 28, 29, 69, 80] установлена связь между микроклиматом на рабочем месте, в жилище и состоянием здоровья людей. Обеспечение необходимых условий микроклимата является одной из основных задач

при проектировании и эксплуатации зданий. Исследования теплоощущений человека в помещении нашли отражение в национальных и международных стандартов на микроклиматические условия [27, 28, 29, 30]. При этом, на основе проведенных исследований для безопасности жизнедеятельности человека зоны наиболее предпочитаемых температур характеризуются не только субъективными ощущениями, но и физиологическим состоянием. Поэтому под зоной теплового комфорта следует понимать комплекс микроклиматических условий, при котором терморегулирующая система человека испытывает наименьшее напряжение, а протекание физиологических функций происходит на уровне, наиболее благоприятном для работы, отдыха и восстановления сил организма после предшествовавшей рабочей нагрузки.

Следует учитывать, что при выполнении определенного вида работы отдых и восстановление сил происходит в помещении, поэтому условия микроклимата должны быть такими, чтобы восстановления в организме протекали на самом оптимальном уровне, а функция терморегуляции находилась бы в состоянии покоя или наименьшей активности [31, 32].

На рис. 1.8 и 1.9 приведены данные [3] оценок тепловых условий в помещениях жилых зданий в зависимости от вида деятельности.

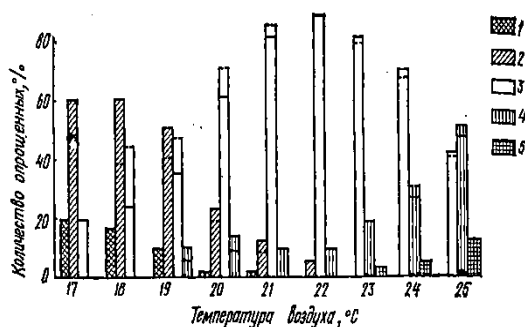


Рис. 1.8. Диаграмма субъективных оценок тепловых условий в помещениях жилых зданий: 1 – холодно; 2 – прохладно; 3 – комфорт; 4 – тепло; 5 – жарко.

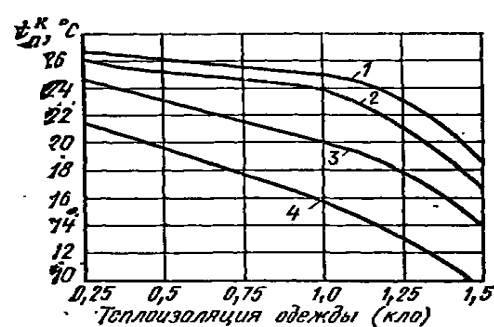


Рис. 1.9. Зависимость комфортной температуры помещения от различных видов деятельности человека (теплопродукции, Вт/м²) и степени утепленности его одежды (по данным П.О.Фангера): 1 – состояние покоя (58); 2 – то же, сидя или стоя (70); 3 – обычная домашняя работа (87); 4 – тяжелая домашняя работа (116).

Требуемый тепловой режим обеспечивается значениями четырех параметров. Это температура, влажность и подвижность внутреннего воздуха помещения, а также средняя (радиационная) температура на внутренней поверхности ограждений.

Таким образом, обеспечение теплового режима заключается в целенаправленном воздействии на формирование тепловых условий в помещениях с целью поддержания внутренней температуры воздуха в помещении и на поверхности ограждений в заданных пределах с учетом санитарно-гигиенических условий. Поэтому при оценке возможности управления микроклиматом в помещениях учитывают теплоустойчивость зданий.

Под теплоустойчивостью здания понимают его свойство поддерживать относительное постоянство температуры в помещениях при изменяющихся тепловых воздействиях.

Учитывая сложную зависимость влияния всех факторов на комфорт человека, справедливо поставить вопрос: к чему приведет не соблюдение требуемых нормативных условий или каким образом можно компенсировать отклонение одного параметра за счет изменения значения другого? По данным [2] суммарная температура помещений жилых и общественных зданий в зимнее время года должна быть 38 °С. При этом предполагается, что температура внутреннего воздуха будет 20 °С и средняя температура внутренних поверхностей $\tau_{в(ср)} = 18$ °С. Но суммарную температуру помещения можно обеспечить разной комбинацией температуры воздуха и средней температуры внутренних поверхностей. В соответствии с номограммой, предложенной в [2], если, например, средняя температура внутренних поверхностей помещения равна 16 °С, то необходимая температура внутреннего воздуха должна быть 22 °С, а при $\tau_{в(ср)} = 14$ °С соответственно $t_{в} = 24$ °С.

Заметное влияние на самочувствие человека оказывает и повышенная сверх допустимого значения скорость циркуляции воздуха в помещении. Если циркуляция воздуха в жилых и общественных зданиях осуществляется со скоростью 0,25 м/с, то для сохранения благоприятного теплового режима температура воздуха должна быть повышена до 22 °С, а при скорости циркуляции 0,4 м/с соответственно до 23 °С.

Имеются данные о том, что изменение относительной влажности внутреннего воздуха в интервале от 30 до 70% не ухудшает чувствительности человека к температуре (естественно, что при этом обеспечиваются требуемые значения всех остальных параметров).

Вместе с тем, при рассмотренной коррекции значений отдельных параметров, характеризующих общий тепловой режим помещения, нельзя нарушать дополнительные нормативные условия:

- диапазоны параметров внутренней окружающей среды, обеспечивающих тепловое равновесие человека в холодный период года для жилых, общественных и производственных зданий;
- допустимую разницу температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности строительных конструкций;
- диапазон подвижностей воздуха (требуемых скоростей) в помещениях с различной температурой.

Однако тепловой режим зданий не определяется только необходимостью поддержания теплового комфорта. Если значения параметров, характеризующих тепловой режим внутренней среды, значительно отклоняются от требуемых, то это может привести к ухудшению здоровья людей, поскольку для него небезопасно как чрезмерное охлаждение, так и чрезмерный перегрев.

Чрезмерное охлаждение организма человека связано с его большими теплопотерями. Эта ситуация может привести к повышенной заболеваемости дыхательных путей и появлению ревматических заболеваний. Под влиянием холода высыхает и трескается кожа. Охлаждение уменьшает подвижность и чувствительность нижних конечностей.

В [3, 6] отмечается, что в условиях обычной домашней работы минимально возможное значение температуры помещения ≈ 14 °С обеспечивается при уравнивании теплопродукции человека и его теплоотдачи. Это соответствует максимальной утеплённости домашней одежды $\approx 1,5$ КЛО (термическое сопротивление одежды измеряется в так называемых единицах КЛО: $1 \text{ КЛО} = 0,155 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$). Для условий Украины эта температура, возможно, может быть ≈ 13 °С. Практическое значение имеет регламентация продолжительности

некомфортных состояний в помещениях массовой застройки. Очевидно, что она должна быть более жёсткой для условий нахождения температуры в диапазоне, близком к минимально допустимому. Основанием для такой регламентации может служить заключение гигиенистов, которые считают допустимыми понижение температуры воздуха в жилых помещениях \approx на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (от уровня расчетной) в течение трёх суток (для условий Украины \approx на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Для обеспечения необходимых условий микроклимата помещений зданий и сооружений в зимний период предусмотрена работа системы отопления. Проведенный анализ работы системы теплоснабжения городских систем как жизненно важный процесс обеспечения необходимых параметров микроклимата помещений в отопительный период показал, что в виду физического износа подземных коммуникаций, неопределенности в работе энергосистем это приводит к возникновению аварийных и дефицитных ситуаций.

Снижение теплоустойчивости различных зданий, а также их охлаждение в холодный период, обусловленное, в т.ч. аварийными и дефицитными ситуациями в системах теплогазоснабжения, может привести к ряду достаточно неблагоприятных явлений, нарушающих тепловой режим и, безусловно, комфорт в помещениях, а в некоторых случаях к весьма вредным для здоровья человека и сохранности здания последствиям.

Проведенный анализ статистических данных показал, что случаи выхода из строя тепловых сетей не единичны и в других городах и населенных пунктах. Так, в результате аварии в тепловых сетях четырех городских котельных 7 ноября 2006 года без теплоснабжения в Днепропетровске осталось 12 домов в центральной части города, где проживает около трех тысяч жителей. Силами МЧС и ремонтными службами города оперативно велись восстановительные работы. В Днепропетровске насчитывается 4249 домов, в их числе ведомственное жилье, жилищно-строительные кооперативы и дома местных советов. Всего в городе 589 котельных. Днепропетровск обслуживают четыре теплоснабжающие организации. В результате аварии был на значительное время утерян контроль над режимом обеспечения микроклимата в домах, что привело к созданию дискомфортных условий для значительного количества жителей города и создана потенциальная опасность для выхода из строя

инженерных сетей. Согласно проведенного анализа [129, 130, 147] такие отключения приводят к выходу температуры воздуха в помещениях и охлаждению внутренней поверхности ограждающих конструкций в закритическое состояние.

Согласно исследований [3] на рис. 1.10 приведены зоны возможного изменения температурных условий в обогреваемых помещениях в отопительный период.

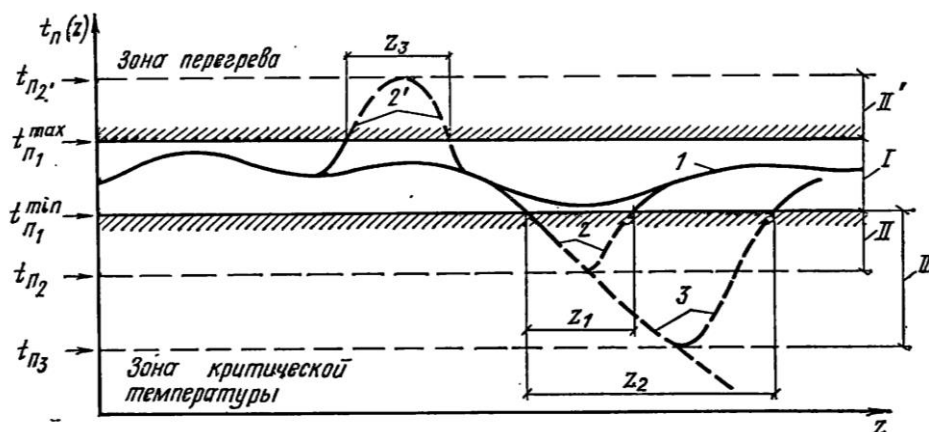


Рис. 1.10. Зоны, определяющие заданные температурные условия обогреваемых помещений: 1 – комфортная; 2, 2' – допустимая при редких отклонениях в течение отопительного сезона; 3 – допустимая при вероятном отклонении 1 раз в несколько лет.

Для основной массы людей не изменяет комфортное теплоощущение при сравнительно узком диапазоне колебаний температуры внутреннего воздуха помещения (рис. 1.10, зона 1). Как показали исследования [126, 129, 130], что можно предъявлять гораздо менее жесткие требования к тепловому режиму помещений во многих случаях. При этом, допустимые тепловые условия вызывают некоторые отклонения от ощущения теплового комфорта, но это обосновано физиологией человека. Следовательно, отклонения температуры внутреннего воздуха за комфортные пределы, которые определены по величине, продолжительности и частоте отклонений, допустимы и характеризуют малую степень теплового комфорта внутренней среды помещения (зоны II, II'). Крайне редко (приблизительно 1 раз в несколько лет) могут допускаться более существенные отклонения температуры внутреннего воздуха, соответствующие допустимому тепловому состоянию человека [3, 6], который находится в помещении значительный промежуток времени (зона III).

В то же время следует учитывать, что охлаждение ограждающих конструкций ниже температуры точки росы, в т.ч. при отключении системы отопления или

дефицитном теплоснабжении, может привести к конденсации водяных паров на внутренней поверхности и внутри конструкций. Увеличение содержания влаги в строительных конструкциях по многим причинам является неблагоприятным фактором. Прежде всего, ухудшаются теплотехнические свойства строительных конструкций. Влажные конструкции являются благоприятной средой для появления и роста плесени, грибка и различных микроорганизмов. Не исключено, что повышение влажности может ухудшить условия для сохранения их свойств, качества и т.п. Влажность влияет также на срок службы строительных конструкций. Известно, что морозостойкость строительных материалов уменьшается при увеличении содержания в них влаги.

Конденсация водяных паров на внутренней поверхности и внутри конструкций может происходить также при локальном снижении температуры ниже температуры точки росы. Особенно часто конденсация водяных паров происходит в углах помещений, на железобетонных перемычках, колоннах, металлических рамах и т.п., т.е. на поверхностях теплопроводных включений, так называемых «мостиках холода».

Если водяные пары не конденсируются на внутренней поверхности конструкций, то это ещё не значит, что невозможна конденсация внутри их. Водяные пары, содержащиеся в воздухе, проникают в пористые материалы, и это влияет на их парциальное давление в отдельных местах конструкций. Однако воздух может содержать только определённое (максимальное) количество водяных паров, что называется состоянием полного насыщения. При определённых теплотехнических и диффузионных свойствах конструкции в некоторых её местах наступает такое состояние воздуха, при котором он полностью насыщен водяными парами. Дальнейшее насыщение водяными парами приводит к их конденсации, а при отрицательной температуре этот конденсат превращается в кристаллы льда.

Проведенный нами анализ исследований по эксплуатации зданий и сооружений в отопительный период показал [44-56], что в Украине в последние годы очень остро стоит вопрос обеспечения необходимых условий микроклимата с учетом безопасности жизнедеятельности людей сохранение их здоровья и работоспособности при аварийных отключениях тепловых систем.

При этом, при длительных отключениях возникает жизненная необходимость не только сохранения безопасности людей, но и сохранения живучести инженерных

коммуникаций. Так установлено, что при достижении температуры внутреннего воздуха $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже инженерные системы (водоснабжение, водоотведение, теплоснабжение, электроснабжение, лифтовое хозяйство) подвержены выходу из строя и в дальнейшем могут потребовать значительных материальных затрат на их восстановление [67, 88].

В то же время установлено [154, 155, 159], что в процессе эксплуатации зданий и сооружений по истечении определенного времени ограждающие строительные конструкции претерпевают значительные изменения от первоначальных, которые регламентированы при строительстве (меняется их плотность, происходит насыщение влагой и парами веществ и т.д.), что влечет за собой изменения их теплотехнических характеристик. До настоящего времени данные изменения не исследовались и не учитывались при управлении процессами обеспечения микроклимата помещений зданий и сооружений. Уменьшение термического сопротивления ограждающих строительных конструкций еще более увеличивает динамику охлаждения и ускоряет процесс достижения в помещениях критических и закритических значений температур, что необходимо учитывать при аварийных или дефицитных ситуациях систем теплоснабжения в связи с экономией энергетических ресурсов и требует дальнейшего исследования.

На процессы охлаждения конструктивных элементов ограждений влияет радиационная активность солнечной энергии, а также ветровая нагрузка. Так установлено, что в зимний период при увеличении скорости ветра на 1 м/с отмечено понижение температуры окружающей среды на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Территориально Днепропетровск находится в зоне значительной солнечной и ветровой активности, что существенно может отражаться на условии сохранения теплового режима в помещениях. Поэтому возникла необходимость исследовать комплексное влияние на достижение критических параметров микроклимата помещений и инженерных систем солнечной радиации, ветровой нагрузки, теплотехнических свойств строительных конструкций зданий и сооружений при аварийных и дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

1.3. Основные средства контроля условий теплообмена ограждающих строительных конструкций с внешней и внутренней средой.

В связи с дороговизной энергоносителей проблема снижения их потребления и одновременно обеспечение необходимых параметров микроклимата помещений становится одной из первоочередных и актуальных задач в Украине. В настоящее время в качестве ограждающих строительных конструкций применяются различные материалы, которые имеют соответствующие теплотехнические свойства от которых, в частности, зависит их термическое сопротивление.

При этом, следует учитывать, что ограждающие строительные конструкции являются барьером на пути распространения и передачи тепла. Поэтому теплотехнические характеристики применяемых строительных материалов в ограждающих конструкциях требуют значительное количество энергии от теплоносителей, что в конечном итоге определяет температуру на их поверхности и температуру воздуха в помещении.

В настоящее время существуют различные методы оценки и контроля теплотехнических характеристик строительных материалов. Различают две обширные группы методов определения теплотехнических характеристик: стационарные и нестационарные [26, 148, 158].

При определении теплотехнических характеристик стационарным методом тепловой поток проходит через исследуемое тело в момент проведения измерения и при этом сохраняется постоянным по величине и направлению [27]. Стационарные условия теплопередачи характеризуются постоянством во времени величины теплового потока и температуры ограждения. При стационарном режиме теплопередачи все теплотехнические расчеты достаточно просты. Поэтому обычно при теплотехнических расчетах наружных ограждений зданий принимается, что теплопередача происходит при стационарном тепловом потоке. Однако в случаях, когда расчеты для стационарных условий дают слишком значительные отклонения от действительных, учитывается изменение во времени величины теплового потока и температуры ограждения [26]. Существует большое количество стационарных методов [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34], отличающихся между собой формами и размерами

исследуемых образцов материала, размещением нагревательных устройств, конструкцией измерительных ячеек и зондов, способами учета и компенсации потерь, приемами регистрации и обработки измерительной информации, а также точностью вывода конечного результата.

Большинство стационарных методов определения теплотехнических характеристик имеют целый ряд недостатков, которые влияют на проведение измерений и результаты. К таким недостаткам относится длительность экспериментов, необходимость использования определенных стандартных образцов. Чаще всего при стационарных методах измерения определяется лишь один теплофизический параметр – коэффициент теплопроводности [26]. Нужно отметить, что стационарные методы определения теплотехнических характеристик материалов невозможно применять без нарушения целостности последних. К тому же они дают оценку теплотехнических характеристик без учета изменения их во времени.

Методы определения теплотехнических характеристик материалов, основанные на закономерностях нестационарного потока тепла, можно разделить на группы:

- а) метод регулярного режима;
- б) методы, основанные на определении параметров нестационарного температурного поля на начальной стадии его развития.

В работах [28, 29] Кондратьевым Г.М. освещена общая теория методов регулярного режима.

В строительной теплотехнике необходимость учета теплопередачи в нестационарных условиях появляется при решении следующих вопросов: определения амплитуды колебания температуры воздуха в помещениях в связи с неравномерностью отдачи теплоты системой отопления; расчета затухания температурных колебаний в ограждении в связи с колебаниями температуры наружного воздуха или под воздействием солнечной радиации; прогрева и остывания массивных ограждений и пр. [26].

Основными недостатками методов регулярного режима являются: длительность эксперимента; возможность проведения измерений только на специально подготовленных образцах определенной формы. Последнее затрудняет применение

этих методов для неразрушающего контроля теплотехнических характеристик материалов [27].

Для оперативного определения теплотехнических характеристик материалов и изделий используются методы измерения, основанные на определении параметров нестационарного температурного поля на начальной стадии процесса теплопроводности, в которых исследуемый образец моделируется в виде полуграниченного тела.

Неразрушающие методы представлены в работах [30, 35-45]. Они включают в себя методы: кратковременного линейного источника тепла, постоянного линейного, цилиндрического и плоского источников тепла, мгновенного источника тепла, шарового зонда, неограниченного эталона и др. Из них наиболее перспективными для теплотехнических характеристик материалов являются те, в которых измерение искомым параметров осуществляется при постоянной, близкой к комнатной температуре. Отличительной чертой этих методов является то, что они не требуют изготовления образцов строго заданной формы и размеров, а подготовка к эксперименту заключается только в небольшой обработке ограниченного участка поверхности исследуемого образца, на который помещается измерительное устройство – зонд. С помощью зонда воздействуют тепловым потоком на исследуемое тело, снимают информацию о тепловом процессе, и на ее основе по заданному алгоритму отыскивают значения теплотехнических характеристик.

Основной задачей теплового неразрушающего контроля зданий и сооружений является определение теплофизических характеристик материалов, составляющих наружные ограждающие конструкции исследуемых объектов. Наиболее важной из определяемых характеристик исследуемого фрагмента наружных ограждающих конструкций является величина его сопротивления теплопередаче. Эта величина определяет теплоизоляционные свойства фрагмента конструкции и связывает плотность теплового потока через выбранный фрагмент конструкций с разностью температур воздуха внутри и снаружи помещения. Именно она показывает то, насколько эффективно в здании сохраняется тепло зимой и насколько медленно здание прогревается летом. Большинство существующих методик определения сопротивления теплопередаче строительных конструкций в реальных условиях эксплуатации

основаны на непосредственном измерении плотности теплового потока, проходящего через поверхность фрагмента исследуемой конструкции. Однако, как показали исследования это приводит к существенной ошибке при определении плотности теплового потока. Появление ошибки связано с существенным различием теплофизических характеристик поверхности фрагмента ограждающих конструкций и материала используемого в датчике. Большая погрешность в определении плотности теплового потока приводит к некорректному определению величины сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций.

Селивановой З.М. [40] разработана информационно-измерительная система неразрушающего контроля теплофизических характеристик материала, которая позволяет достичь их определения в широком диапазоне теплопроводности исследуемых материалов: строительных материалов, теплоизоляционных, металлополимеров и других материалов с прогнозируемой погрешностью 3-5%. Используется измерительный зонд, который выполняет следующие процедуры: определение среднеинтегрального значения температуры в контактной области интеллектуального измерительного зонда (ИИЗ) и исследуемого материала (ИМ), устранение влияния воздействия температуры внутренней и наружной окружающей среды на результаты измерения, формирование необходимого количества тепловых импульсов, поступающих на нагревательный элемент ИИЗ, осуществление перестройки диапазона усиления усилителя в зависимости от теплопроводности ИМ.

Метод для определения теплотехнических характеристик заключается в определении оптимальных режимно-энергетических параметров на основе анализа имеющейся в базе знаний ИИИС априорной информации об ИМ, оценке измерительной ситуации, использования полученных и хранящихся в базе данных расчетно-экспериментальных зависимостей времени достижения установившегося теплового режима в области контакта ИМ и ИИЗ и показателя достижения установившегося теплового режима ИМ, оптимального количества тепловых импульсов, времени достижения температуры усреднения в тепловой системе «ИИЗ-вспомогательный образец» [40]. Принцип действия ИИИС заключается в следующем. Процесс теплофизического измерения начинается с идентификации параметров исследуемого материала при воздействии на него дестабилизирующих факторов, оказывающих

наибольшее влияние на результаты измерения ТФСМ, и класса измерительной ситуации. При изучении данных метода исследований выявлено, что на результаты исследований существенное влияние оказывает влажность, контактное термическое сопротивление, шероховатость поверхности ИМ. Как показывает экспериментальные исследования, около 50 % погрешности в результат измерения ТФСМ вносит температура окружающей среды. Задачу исключения влияния ТОС решает ИИЗ, который помещается на исследуемый материал. При этом осуществляется контроль температуры в системе «ИИЗ-ИМ». После этого осуществляют нагрев материала и снятие тестовой термограммы, позволяющей определить предварительную теплопроводность ИМ и ДФ на основе информации о температурно-временных изменениях в системе «ИИЗ-ИМ». Полученные значения ДФ записываются в СДК ИВУ [40].

ИИИС обеспечивает измерения в средах с постоянной и переменной температурой, использует импульсные методы определения теплофизических свойств материалов при действии линейного и плоского источников тепла, получая при этом комплексную экспрессинформацию о ТФСМ, причем результаты измерений сравниваются с прогнозируемыми, т.е. реализуется обратная связь.

В.Г. Авраменко [41] предложен метод определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, основанный на использовании эталонного слоя – дополнительной структуры с заданными теплотехническими характеристиками.

Предложенный метод эталонного слоя позволяет определять теплотехнические характеристики материалов наружных ограждающих конструкций зданий и строительных сооружений. Метод эталонного слоя основывается на предположении об одномерном характере процесса теплопередачи внутри фрагмента, поэтому метод применим при условии, что линейные размеры эталонного слоя в плоскости, параллельной поверхности фрагмента, более чем в 4 раза превосходят толщину исследуемого фрагмента ограждающих конструкций. Данный метод предполагает исследования в стационарных условиях при помощи специальных образцов и не может быть использован в реальных производственных условиях.

Предлагаемый А.В. Ковылиным и В.М. Фокиным [42] метод определения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций основан на измерении температур и тепловых потоков на поверхности, без внедрения вглубь материала.

Эксперименты проводились с использованием универсального многоканального регистратора «Теплограф». Тепломер имеет 2 датчика температуры, которые были установлены на наружной и внутренней стенках жилого кирпичного здания из силикатного кирпича толщиной 0,7 м. Кроме того, два датчика для измерения тепловых потоков были установлены на наружной и внутренней стенах строения.

Предложенная методика определения теплотехнических свойств ограждающих конструкций зданий с помощью универсального многоканального регистратора «Теплограф» позволяет достаточно точно определить коэффициент теплопроводности λ , объемную теплоемкость (c_p), коэффициент температуропроводности a методом неразрушающего контроля. Данный способ предусматривает установку датчиков как на внутренней так и на внешней поверхности ограждающей конструкции. Такой метод во многом зависит от факторов внешней среды.

В.Ф. Тарановым произведены исследования теплотехнических свойств нового теплоизоляционного материала «Астратек» с помощью нестационарных методов измерения: метода упорядоченного теплового режима и метода неразрушающего контроля теплофизических параметров материала с использованием измерителя теплопроводности ИТП-МГ4. На рис. 1.11 показана принципиальная схема размещения исследуемого образца и элементов измерителя теплопроводности.

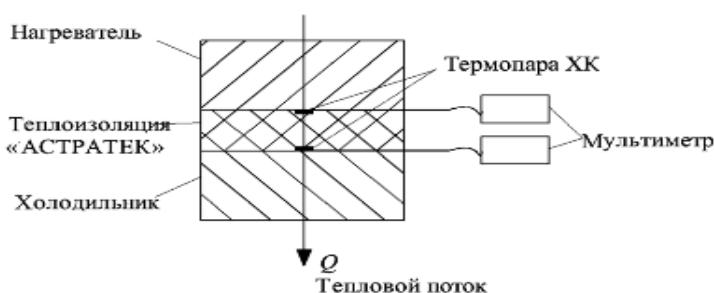


Рис. 1.11 Схема размещения исследуемого образца и элементов измерителя теплопроводности

Предложенные им методики определения теплотехнических характеристик теплоизоляционного материала позволили определить коэффициент теплопроводности λ , объемную теплоемкость c_p , коэффициент температуропроводности a , коэффициент теплоусвоения S , коэффициент тепловой инерции b с погрешностью $\pm 10\%$ [43].

Недостатком этого метода является изготовление образцов исследуемых материалов и длительность процесса определения их теплотехнических свойств.

Л.Л. Антоновым и А.А. Чуриковым [44] разработан относительный метод неразрушающего контроля комплекса теплотехнических характеристик (теплопроводности и температуропроводности) основан на дискретном во времени тепловом воздействии: удельная мощность источника тепла предполагает наличие двух соприкасающихся полуограниченных тел – исследуемого и сравниваемого, между которыми в плоскости действует круглый источник тепла с определенными радиусом и мощностью.

Предлагаемый исследователями процесс организации нагрева позволяет сократить длительность рабочей стадии эксперимента при сохранении точности метода, а также дает возможность адаптировать тепловые процессы в образцах различных форм малых размеров к достаточно простым математическим моделям. Этот метод является наиболее близким к нашему методу получения теплотехнических характеристик исследуемых материалов, но требует проведения исследований на специальных образцах.

Анализ методов и средств измерения теплотехнических характеристик строительных конструкций и изделий показал, что наиболее эффективно определение этих параметров осуществляется с использованием нестационарных методов теплопроводности, позволяющих оперативно и с необходимой для строительной теплотехники точностью контролировать искомые теплотехнические характеристики стройматериалов и готовых изделий без нарушения их целостности и эксплуатационных характеристик.

Проведенный анализ средств и методов контроля по определению теплообмена строительных конструкций с окружающей средой показал, что данные методы не позволяют производить непосредственный постоянный контроль за изменением теплотехнических характеристик строительных материалов ограждающих конструкций без специальной подготовки исследуемых образцов с учетом влияния окружающей среды и изменения термического сопротивления конструкций во время эксплуатации. Некоторые методы требуют установки датчиков одновременно внутри и снаружи ограждающей конструкции, значительного времени для выполнения измерений.

Отсутствие данных постоянного контроля не позволяет оперативно управлять процессом поддержания необходимых параметров микроклимата помещений с учетом происходящих изменений. В итоге возникла необходимость исследования теплотехнических свойств ограждающих конструкций зданий и сооружений в реальных производственных условиях в процессе длительной эксплуатации, которые обеспечат их комплексное получение путем установки датчиков только на внутренней поверхности ограждающих конструкций, что позволит уменьшить время выполнения измерений и учитывать влияние факторов внешней среды на ограждающие конструкции в любой момент времени. Необходимо учесть возможность снятия показания датчиков с помощью портативного переносного устройства и включения их в гибкую систему управления установки по обеспечению параметров микроклимата с учетом обратных связей. Поэтому возникла необходимость проведения исследования и разработке метода измерения теплотехнических характеристик строительных материалов непосредственно в ограждающих конструкциях с применением датчиков с кольцевым и плоским нагревателями.

1.4. Выводы по разделу 1.

1. Анализ ранее проведенных исследований показал, что обеспечение жизнедеятельности в помещениях в отопительный период зависит от поддержания теплового режима за счет устойчивой работы систем теплоснабжения.

2. Установлено, что из-за значительного физического износа систем теплоснабжения в Украине часто возникают аварийные отключения, что существенно (негативно) сказывается на микроклимате помещений и устойчивой работе систем жизнеобеспечения и впоследствии требует дополнительных и значительных материальных затрат по их восстановлению.

3. Для предотвращения достижения критического состояния параметров микроклимата помещений и разрушения инженерных сетей необходимо провести исследования и установить закономерности динамики охлаждения внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения с учетом типа здания, солнечной радиации и ветрового воздействия, что позволит контролировать и управлять тепловой режим помещений.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И СРЕДЫ ЗАМКНУТОГО ПРОСТРАНСТВА

2.1. Теоретические исследования условий теплообмена строительных конструкций с окружающей средой с использованием кольцевого нагревателя

Анализ показал, что все теплозащитные материалы можно условно разделить на однородные с низкой теплопроводностью (пенобетон, пенопласты и прочее) и композиционные, многослойные с наличием минеральной среды, имеющие различные теплофизические характеристики, но в сумме дающие положительный эффект термоизоляции при наличии преобладающей доли лучистого тела. Как показали исследования, при наличии равно распределенного объема воздушной массы имеет место в значительной степени контактный и конвективный теплообмен. Согласно проведенного нами анализа установлено, что обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении зависит от теплообмена ограждающих строительных конструкций с воздушной средой замкнутого пространства - температурно-влажностным его состоянием, которые определяются режимом теплоснабжения или охлаждения. Учитывая дефицитность энергоресурсов в Украине возникла необходимость в теоретическом и практическом обосновании контроля за температурным режимом помещений с учетом потерь тепла через ограждающие конструкции. Вначале при проведении теоретических исследований нами рассматривалась общая задача определения теплотехнических характеристик строительных материалов и конструкций. Рассмотрим изначально теплозащитные материалы с разной плотностью и теплопроводностью по функциональному назначению (экранирование, поверхностная изоляция и т.д.). При изменяющихся по времени процессах нагрева лучистым и конвективным способами, свойства и эффективность теплозащитных материалов и покрытий имеют неоднозначные характеристики. На основании анализа раздела 1 нами предложено два способа контроля теплофизических характеристик теплозащитных материалов.

Рассмотрим случай теплообмена материалов, изначально предназначенных для работы при значительной доле лучистого тепла и теплопередачи при контакте [9, 18]. Для определения области решения задачи первоначально определим условия использования контактного датчика для материалов с коэффициентом теплопроводности более $0,167 - 2,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$. При этом, нами была принята функциональная схема работы датчика с кольцевым нагревателем (рис. 2.1).

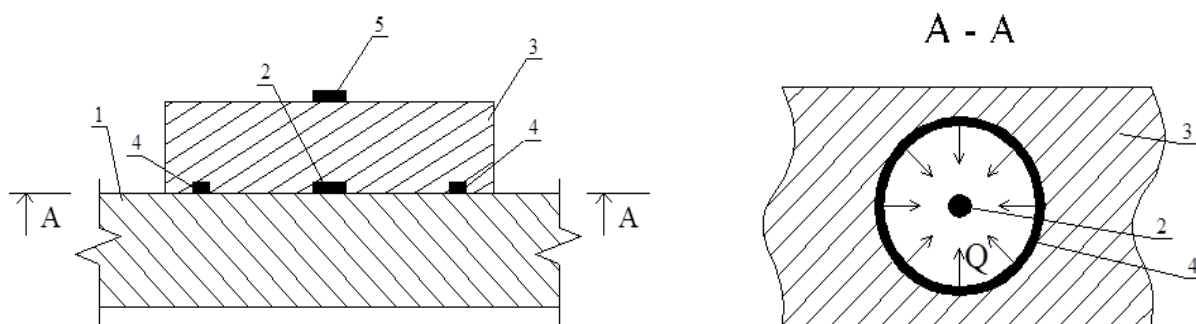


Рис. 2.1. Функциональная схема датчика с кольцевым нагревателем:

1 – исследуемый элемент; 2 – внутренний термометр; 3 – корпус датчика; 4 – кольцевой нагреватель; 5 – наружный термометр.

Принимаем изначально допущение – схему подачи стабильного теплового потока Q от нагревателя 4 при контакте с исследуемым материалом 1. При этом, тепло распространяется как вглубь образца, так и вдоль полуограниченной поверхности по направлению к приемнику теплового излучения 2.

При подаче стабильного тока на нагреватель датчика 2, который выполнен нами из нихрома, он выдает стабильный тепловой поток Q , который передает тепло исследуемому материалу. От точки распределения тепла тепловая волна прогревания достигает термометра 2, что позволяет определить теплофизические характеристики исследуемого материала.

В качестве основы датчика применение константана обусловлено тем, что он имеет незначительный коэффициент линейного расширения $\alpha = 10 \times 10^{-5} 1/град$ и малый коэффициент теплопроводности λ .

Основным критерием исследуемой поверхности при решении задач теплоотдачи и теплопередачи является тепловая активность $A = x/\sqrt{a}$, где a - коэффициент температуропроводности.

В то же самое время: $\alpha = a \cdot C \cdot \gamma$,

где C – удельная теплоемкость исследуемой поверхности;

γ - объемный вес исследуемого материала.

Данная зависимость хорошо согласуется с исследованиями [46, 49], где теплофизические характеристики теплозащитных материалов можно определить с учетом отражательной способности, электропроводности и теплопроводности.

При первоначальных условиях нами сделано допущение, что температура термических датчиков (2; 5) t_n^0 и t_e^0 равна. Принимая, что температуры исследуемого материала и самого тела датчика равны, то при нагреве t_e^0 за счет распространения тепла по поверхностному слою исследуемого материала при постоянном потоке Q разность температур t_n^0 и t_e^0 будут характеризовать тепловую активность, теплопроводность и другие параметры.

При установке датчика прибора на исследуемый образец переходу тепла через стык поверхностей препятствует контактное термическое сопротивление [50]. Отличительной особенностью зоны контакта, при этом, является наличие определенной воздушной прослойки, характеризующейся переменной толщиной в зависимости от микрошероховатости поверхности. При контактном теплообмене переход тепла совершается тремя взаимосвязанными способами: теплопроводностью материала, теплопроводностью воздушной прослойки и тепловым излучением в зоне контакта. При этом, термическое сопротивление R_T зоны контакта можно рассматривать состоящим из трех параллельных сопротивлений: поверхностных слоев материала R_M ; воздушной прослойки в зазорах между точками соприкосновения R_r и сопротивления R_L , обусловленного передачей тепла излучением в зазорах зоны контакта.

Количество тепла, передающееся через места непосредственного соприкосновения, выражается соответственно следующим образом:

$$Q_1 = \frac{\lambda_M \Delta t_K}{\delta} F_\phi Z ; \quad (2.1)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda_r \Delta t_K}{\delta} F_r Z ; \quad (2.2)$$

$$Q_3 = C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1 Z, \quad (2.3)$$

- где Q_1 - теплота, проходящая через материал;
 Q_2 - теплота, проходящая через воздушную прослойку;
 Q_3 - теплота, передаваемая в зоне контакта;
 λ_m - средний коэффициент теплопроводности поверхностного слоя материала;
 λ_T - коэффициент теплопроводности воздушной прослойки при средней температуре контакта;
 δ - средняя толщина воздушной прослойки;
 Δt_K - температурный скачок в зоне контакта;
 Z - время;
 F_ϕ - фактическая площадь контакта;
 F_r - площадь занимаемая воздушной прослойкой;
 T_1 и T_2 - температура соприкасающихся поверхностей;
 C - приведенный коэффициент излучения.

Удельные тепловые потоки, проходящие через сплошной слой материала и зону контакта соответственно равны $q_0 = \frac{Q_{общ}}{F_{общ}Z}$; $q_0' = \frac{\Delta t_K \lambda_{эф}}{\delta_{эф}} = \frac{\Delta t}{R_T}$,

- где $Q_{общ}$ - общий тепловой поток в зоне контакта;
 $F_{общ}$ - общая площадь контакта;
 $\lambda_{эф}$ - коэффициент теплопроводности;
 $\delta_{эф}$ - эффективная толщина воздушной прослойки.

Отсюда можно определить:

$$Q_{общ} = F_{общ} Z \frac{\Delta t_K}{R_r} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.4)$$

или

$$F_{общ} Z \frac{\Delta t_K}{R_T} = F_\phi Z \frac{\Delta t_K}{R_M} + F_r Z \frac{\Delta t_K}{R_r} + F_r Z C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (2.5)$$

- где Q_1 - теплота, проходящая через материал;

Q_2 - теплота, проходящая через воздушную прослойку;

Q_3 - теплота, передаваемая в зоне контакта;

Z - время;

F_ϕ - фактическая площадь контакта;

F_r - площадь занимаемая воздушной прослойкой.

Вследствие очень малой величины теплового потока, передаваемого излучением, величиной Q_3 можно пренебречь. Тогда:

$$\frac{F_{общ}}{R_T} = \frac{F_\phi}{R_M} + \frac{F_k}{R_r}. \quad (2.6)$$

Обозначив через относительную площадь контакта, после преобразования (2.6) получим

$$R_T = \frac{1}{c \frac{1}{R_{эф}} + (1-a) \frac{1}{R_r}} \quad (2.7)$$

или

$$R_T = \frac{\delta_{эф}}{c\lambda' + (1-a)\lambda_T}, \quad (2.8)$$

где $\delta_{эф}$ - эффективная толщина воздушной прослойки;

$R_{эф}$ - эффективное термическое сопротивление воздушной прослойки;

R_r - термическое сопротивление воздушной прослойки;

λ' - коэффициент теплопроводности эффективной воздушной прослойки;

a - коэффициент температуропроводности;

λ_T - коэффициент теплопроводности воздушной прослойки при средней температуре контакта.

Учитывая, что теплопроводность поверхностного слоя материала значительно отличается от теплопроводности основного материала или основы введем поправочный коэффициент $\omega = (0,2 \div 0,8)$. Тогда $\lambda'_\omega = \omega\lambda$.

Таким образом, формула (2.8) для определения контактного термического сопротивления окончательно примет вид:

$$R_T = \frac{\delta_{эф}}{\omega\lambda_{\omega} + (1-a)\lambda_T}. \quad (2.9)$$

Например, для металлизированных покрытий листа при нормальном давлении в воздушной среде:

$$R_T = \frac{1}{\omega\lambda_{\omega}} = 0,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{кДж}. \quad (2.10)$$

При использовании других теплоотражательных, теплоактивных материалов с использованием металлизированных пленок и тонких слоев из алюминия, медно- и оловооксидных пленок и др. необходимо ввести поправочные коэффициенты.

Рассмотрим уточненный способ определения тепловой активности и других характеристик материалов с учетом не только поверхностного распространения тепловых полей от кольцевого нагревателя, но и с учетом распространения теплового потока в системе трех координат. При установке датчика на исследуемый образец материала переходу тепла через стык поверхности препятствует контактное термическое сопротивление R_M , которое возникает из-за их недостаточно плотного прилегания друг к другу. В работе нами рассмотрена возможность определения теплотехнических характеристик строительных конструкций с коэффициентами теплопроводности $\lambda = 0,167 \div 2,04 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$.

Учитывая выше изложенное, датчик выполнен нами из материала константана, имеющий высокий класс чистоты поверхности, а кроме этого аналитически установлена поправка, которую следует вносить в показания при контактных термических исследованиях. Отличительной особенностью зоны контакта, при этом, является наличие определенной воздушной прослойки, характеризующейся переменной толщиной в зависимости от микрошероховатости поверхности, что определяется в первом приближении.

На основании теплотехнических расчетов получена формула для определения величины контактного термического сопротивления, которая имеет вид:

$$R_M = \frac{\delta_{эф}}{\omega \cdot a_k \cdot \lambda_m + (1-a)\lambda_r}, \quad (2.11)$$

где $\delta_{эф}$ – толщина воздушной прослойки;

ω – коэффициент поверхности (для различных материалов измеряется в пределах $\omega = 0,2 \div 0,8$);

a_k – относительная площадь контакта;

λ_m – средний коэффициент теплопроводности поверхностного слоя материала;

λ_r – коэффициент теплопроводности воздушной прослойки при средней температуре контакта.

Полученная величина контактного термического сопротивления корректируется при определении теплофизических характеристик различных материалов с учетом их теплопроводности.

Проведенный анализ методов определения теплофизических характеристик и используемых средств измерения показал, что большинство их основано на решении задач нестационарной теплопроводности с тепловыми источниками, геометрия которых не отражена в расчетных формулах. Одним из достоинств предлагаемого метода является то, что они позволяют определять теплофизические характеристики по данным опыта непосредственно в производственных условиях. Это обусловлено тем, что в датчиках указанного типа применена несимметричная схема укладки эталона только с одной стороны исследуемого материала, что является отличительным признаком в работе – метод определения теплофизических характеристик с использованием кольцевого нагревателя. Данный метод позволяет, с одной стороны, учитывая геометрическую правильность задачи (осевую симметрию), получить более точные аналитические зависимости, связывающие геометрические параметры, теплофизические характеристики и градиенты температурного поля, с другой стороны, позволяют находить полуэмпирические формулы для определения теплофизических характеристик широкого диапазона исследуемых материалов с варьированием в широком интервале размеров источника и мощности самого нагревателя. Поэтому, предложенный нами датчик прибора представляет собой цилиндр, изготовленный из «идеального» изолятора (фторопласт-4), в рабочей плоскости которого запрессовано термосопротивление ММТ-13, позволяющее производить более точные измерения температуры на месте соприкосновения датчика и исследуемого материала (погрешность не превышает 5%, что позволяет использовать данный метод в инженерной практике). При работе прибора выделяется

постоянный по мощности удельный тепловой поток $q_0(x_0, y_0, z_0, t_0)$ от кольцевого нагревателя (рис. 2.2) с пространственно-временными координатами вида: $R_1^2 \leq x_0^2 + y_0^2 \leq R_2^2, z = 0, 0 \leq t_0 \leq T$.

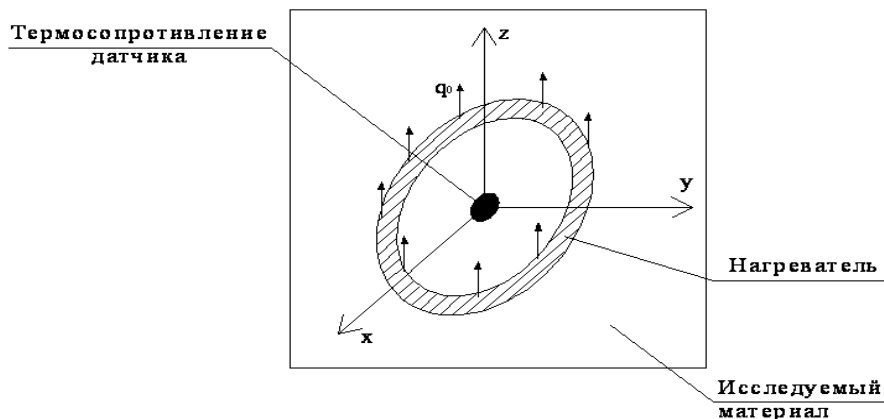


Рис. 2.2. Расположение датчика в пространственных координатах

В начальный момент времени ($Z = 0$) исследуемая среда и датчик прибора находятся в равновесном тепловом состоянии с температурой $U(x, y, z, 0) = U_0 = const$. При этом, функция Грина – уравнения теплопроводности для всего исследуемого полупространства имеет вид:

$$U(x, Z, x_0, Z_0) = \frac{2\theta(Z - Z_0)}{[4a^2 \pi(Z - Z_0)]^{3/2}} \cdot \frac{q_0}{c\gamma} \cdot e^{-\frac{\bar{x} - \bar{x}_0}{4a^2(Z - Z_0)}}. \quad (2.12)$$

Эта функция удовлетворяет уравнение (2.13), определяет влияние элемента кольцевого источника тепла датчика, мощностью q_0 , локализованного в точке (x_0, Z_0) , на исследуемую точку полупространства (x, Z) :

$$\left(\frac{\partial}{\partial Z} - a^2 \Delta \right) U(\bar{x}, Z, \bar{x}_0, Z_0) = \frac{q_0}{c\gamma} \cdot \delta \cdot (\bar{x} - \bar{x}_0) \cdot \delta \cdot (Z - Z_0), \quad (2.13)$$

где $\theta(z)$ – функция включения источника, отражающая необратимость теплового процесса (функция Хевисайда),

$\delta(x)$ - трехмерная функция Дирака,

$\delta(Z)$ - одномерная функция Дирака.

Соотношение 2.12 и 2.13 целесообразно, следуя принципу симметрии задачи, можно записать в цилиндрических координатах (рис. 2.3).

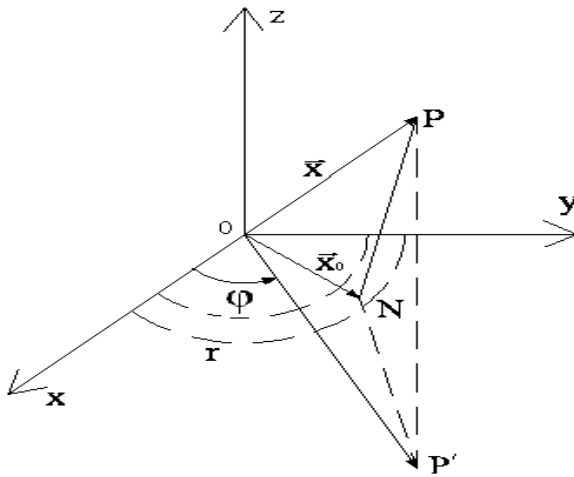


Рис.2.3. Изображение точки в цилиндрической системе координат.

$$U(r, \varphi, Z, z, r_0, \varphi_0, Z_0, 0) = \frac{2q_0(r_0, \varphi_0, Z_0, 0)}{c \cdot \varphi [4a^2 \pi (Z - Z_0)]^{3/2}} \cdot \theta(Z - Z_0) \times$$

$$\times e^{\left(r^2 + r_0^2 - 2r \cdot r_0 \cdot \cos(\varphi - \varphi_0) + z^2 \right) \left(-\frac{\bar{x} - \bar{x}_0}{4a^2 (Z - Z_0)} \right)}$$
(2.14)

Эта функция характеризует температурное поле, создаваемое в точке массива $(r, \varphi_0, 0, Z_0)$.

После ряда математических преобразований получено уравнение (2.15), описывающее изменение температурного поля в глубине исследуемого массива, в точках, лежащих на оси Z , за счет влияния теплового источника.

$$U(z, Z) = \frac{4 \cdot q_0 \cdot \pi}{c \cdot \gamma (4a^2 \cdot \pi)^{3/2}} \int_0^T \frac{\theta(Z - Z_0)}{(Z - Z_0)^{3/2}} \cdot e^{-\frac{z^2}{4a^2 (Z - Z_0)} dZ_0} \cdot \int_{R_1}^{R_2} e^{-\frac{r_0^2}{4a^2 (Z - Z_0)} \cdot dr_0} ,$$
(2.15)

где q_0 - мощность удельного теплового потока кольцевого нагревателя датчика;

c - теплоемкость исследуемого материала;

γ - удельный вес исследуемого материала;

a - коэффициент температуропроводности датчика;

Z - текущий момент времени;

Z_0 - начальный момент времени;

T - конечный момент времени;

R_2, R_1 - внутренний и внешний радиусы кольцевого нагревателя;

r - радиус кольцевого нагревателя;

θ - функция Хевисайда.

Из соотношения (2.15) и анализа начальных условий следует, что изменение температуры по глубине массива (ось z) с течением времени при включении кольцевого источника, сосредоточенного в области, характеризуемой пространственными координатами (рис. 2.2) в пределах $0 \leq Z \leq T$ описывается закономерность при граничных условиях:

$$R_1 \leq r_0 \leq R_2, 0 \leq \varphi_0 \leq 2\pi, 0 \leq Z_0 \leq T; \quad (2.16)$$

$$U(z, Z) = U_0 + \frac{4\pi \cdot q_0}{c\gamma(4\pi \cdot a^2)^{3/2}} \int_0^T \frac{1}{Z_0^{3/2}} \cdot dZ_0 \cdot e^{-\frac{z^2}{4a^2Z_0}} \cdot \int_{R_1}^{R_2} e^{-\frac{r_0^2}{4a^2Z_0}} \cdot dr_0, \quad (2.17)$$

где U_0 - начальная температура.

В месте соприкосновения датчика прибора с исследуемым материалом закон изменения температуры может быть записан в виде:

$$U(0, Z) = U_0 + \frac{q_0}{2c \cdot \gamma \cdot a^2} \int_{0, Z-T}^{Z, Z} \frac{1}{Z_0} \left[\Phi\left(\frac{R_2}{2a\sqrt{Z_0}}\right) - \Phi\left(\frac{R_1}{2a\sqrt{Z_0}}\right) \right] \cdot dZ_0 \quad (2.18)$$

Таким образом, метод решения задачи с кольцевым источником тепла приводит к получению аналитических зависимостей, описывающих изменение температурного поля массива с учетом начальных и граничных условий, геометрии и мощности тепловых источников. Он может быть естественно обобщен для задач с тепловыми источниками переменной мощности, а также для неоднородных и не изотропных тел, имеющих различные теплофизические характеристики. В конечном итоге в результате проведенных исследований нами были получены зависимости для определения теплофизических характеристик исследуемых материалов. При этом, зависимость для определения коэффициента теплопроводности (λ) имеет вид:

$$\lambda = \frac{(q_0 \cdot \Delta R)^{2/3}}{4\pi \cdot c \cdot \gamma \cdot Z \cdot \Delta U} \cdot e^{-\frac{\alpha}{3}}, \quad (2.19)$$

где q_0 - удельный тепловой поток, выделяемый кольцевым нагревателем, определяется по формуле:

$$q_0 = \frac{0.86 \cdot I^2 \cdot R}{F}, \quad (2.20)$$

ΔR - толщина кольца нагревателя;

Z - время нагрева;

ΔU - изменение температуры в плоскости соприкосновения;

c, γ - теплоемкость и удельный вес исследуемого материала (определяется из литературных источников);

α - величина, постоянная для данного прибора, вычисляется по формуле:

$$\alpha = -\frac{R_1 + R_2}{a_{np} \cdot \sqrt{Z}}, \quad (2.21)$$

где a_{np} - коэффициент температуропроводности датчика;

R_2, R_1 - внутренний и внешний радиусы кольцевого нагревателя;

На базе расчетных зависимостей нами был предложен датчик, с помощью которого, помимо определения теплофизических характеристик материалов, представляется возможным исследовать теплообмен строительных конструкций с окружающей средой в замкнутых помещениях.

2.2. Разработка конструкции кольцевого датчика для исследования теплообмена ограждающих строительных конструкций с окружающей средой

На основе теоретических исследований нами была получена зависимость определения тепловой активности материалов с использованием кольцевого нагревателя. Рабочая формула основана на исследовании условий теплопроводности, контактных сопротивлений в месте касания нагревателя и термоприемника. Приведены решения приближенного расчета, определяющие область существования и уточненного расчета (рабочая схема датчика с кольцевым нагревателем приведена на рис. 2.1). В основу датчика входит кольцевой нагреватель, который питается стабилизированным напряжением. Учитывая, что сопротивление нагревателя задано

постоянным, то и тепловая мощность Q будет выделяться постоянно. Также необходимо определиться с термическими приемниками, обеспечивающими высокую чувствительность и стабильность по времени. Т.к. вольтамперная характеристика полупроводниковых термисторов при высокой чувствительности обладает нелинейностью. Необходимо было принять такой режим работы полупроводникового приемника теплового потока, который позволил бы выбрать наиболее линейный участок вольтамперной характеристики.

В качестве материала для кольцевого нагревателя используем провод константана ПЭЛШО – 0,2 сопротивлением $R = 11,2 \text{ Ом}$. Выбор материала нагревателя обусловлен требованием сохранения неизменным его сопротивление в процессе нагрева под действием электрического тока от стабилизированного источника.

Датчик теплофизический кольцевого прибора представляет собой цилиндр, выполненный из идеального теплоизолятора (фторопласт-4), в торцевой плоскости которого, в специальной канавке, запрессован нагреватель. Нагревателем служит константановый провод ПЭЛШО – 0,2 сопротивлением $R = 11,2 \text{ Ом}$. Воспринимающим элементом датчика является термистор ИМТ-13 сопротивлением 300 Ом . Термосопротивление установлено в центре нагревательного элемента и нагружено пружинной, так что оно соприкасается с плоской поверхностью исследуемого материала на том же уровне, что и кольцевой нагреватель. Хороший тепловой контакт между датчиком и исследуемым материалом обеспечивается предварительно тщательной шлифовкой рабочей поверхности образца, а также специальной прижимной планкой со стандартным усилием около 1,0 кг. С противоположной стороны датчика установлено второе плечо равновесного моста – компенсационное термосопротивление ММТ-13, равное 300 Ом . При проведении измерений нагреватель выделяет постоянный по мощности удельный тепловой поток, который, передаваясь теплопроводностью через исследуемый материал, нарушит равновесное состояние моста. Сигнал разбаланса при этом будет зависеть от коэффициента теплопроводности материала, расчетная формула которого имеет вид (2.19).

Таким образом, принцип действия кольцевого датчика основан на измерении в определенный момент времени ($Z = 1 \div 3 \text{ мин}$) разности температур в плоскостях, находящихся на различном расстоянии от кольцевого нагревателя датчика; одна из них

совмещена с ним и расположена в месте теплового контакта с исследуемым материалом; другая находится вне действия теплового поля датчика, на противоположной стороне эталонного тела. При проведении измерений, после выдержки «мертвой паузы» прибора (в данном случае 1 минута, спустя после включения нагревателя) наступает электрический разбаланс. Величина разбаланса зависит от температурного градиента между датчиком и исследуемым материалом, является функцией его теплофизических характеристик, в данном случае – коэффициента теплопроводности и поступает на вход измерительной схемы прибора (рис. 2.4).

Для выявления преимуществ схем измерения температуры, использующих полупроводниковые термодатчики в сравнении со схемами, использующими металлические термометры сопротивления, нами было проведено количественное сравнение ряда их параметров, таких, как, чувствительность, отношение мощности на выходе моста и мощности, рассеиваемой термодатчиком и отношение выходных мощностей мостов с равными датчиками.

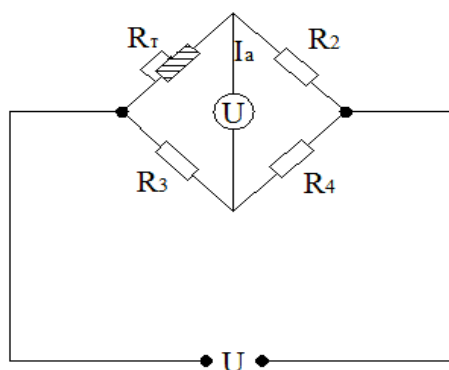


Рис. 2.4. Мостовая схема включения термистора с одним переменным плечом
где U - источник стабилизированного питания;

R_2, R_3, R_4 - сопротивление моста;

R_T - термистор со стороны кольцевого нагревателя.

Проведенные исследования показали, что чувствительность моста с полупроводниковым термистором на порядок выше чувствительности моста с металлическим термометром сопротивления. Весьма существенным для мостовой схемы является получение наибольшего отношения мощности на выходе моста P_0 и мощности, выделяемой в термодатчике P_1 . Повышение этого соотношения позволило

использовать в схеме измерения менее чувствительные приборы, а в устройстве прибора – избежать лишних каскадов усиления электрического сигнала.

Отношение $\frac{P_0}{P_1}$ определяется:

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{r_0}{r_1} \cdot \frac{r_2 r_3 - r_1 r_4}{[r_0(r_3 + r_4) + r_3(r_2 + r_4)]}, \quad (2.22)$$

или

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{r_0}{r_1} \cdot \frac{(a - r_1)^2}{d^2}, \quad (2.23)$$

где P_0 - мощность на выходе моста;

P_1 - мощность термодатчика;

r_1, r_2, r_3, r_4 - сопротивление плеч моста, Ом;

r_0 - сопротивление нагрузки, Ом;

a - температурный коэффициент сопротивления

$$a = \frac{r_2 r_3}{r_4}; \quad (2.24)$$

$$d = \frac{r_0(r_3 + r_4) + r_3(r_2 + r_4)}{r_4}, \quad (2.25)$$

а так как $r_1 = a + \Delta r$, то:

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{\Delta r^2}{a + \Delta r} \cdot \frac{r_0}{d^2}, \quad (2.26)$$

Из выражения (2.26) следует, что в одинаковом диапазоне измерения температуры в случае полупроводникового термистора величина $r_1 = a + \Delta r$ будет превосходить ту же величину для металлического термометра сопротивления. А в случае $\Delta r < 0$ повышается отношение $\frac{P_0}{P_1}$.

Это показывает, что применяя термистор в качестве чувствительного элемента термодатчика, мы значительно лучше используем его рассеивающую способность, т.е.

при равных геометрических размерах датчиков на выходе моста с полупроводниковым термистором может быть получена значительно большая мощность, чем при использовании проволочного термометра сопротивления.

На основании сравнительного анализа и расчета был сделан вывод о том, что применение термисторов в качестве термодатчика вызывает чувствительность схемы и дает на выходе мощность в 50 раз большую, чем схема термодатчика с проволочным резистором.

Выбранные на основе расчетного анализа термисторы были монтированы в кольцевом датчике. Это предоставило возможность кроме известных преимуществ термисторов перед проволочными резисторами, избежать частой поломки последних в силу их значительного прижатия к испытываемому материалу. При эксплуатации термистора следует иметь в виду и так называемую «усталость», для ликвидации которой необходимо время от времени менять полярность подключаемого к датчику напряжения.

В результате исследований была разработана конструкция датчика с кольцевым нагревателем (рис. 2.5).

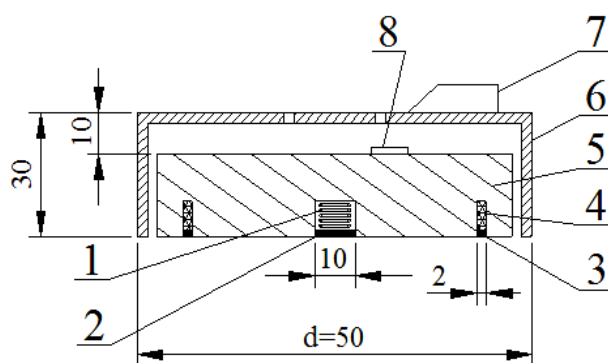


Рис. 2.5. Конструкция датчика с кольцевым нагревателем:

1 – пружина; 2 – термистор; 3 – кольцевой нагреватель; 4 – пружина; 5 – фторопласт; 6 – корпус; 7 – разъем подключения; 8 – система термисторов.

Датчик с кольцевым нагревателем заключен в металлический корпус $d = 50\text{ мм}$, высотой 30 мм . В котором размещено диск из фторопласта-4, в котором размещен кольцевой нагреватель, а по центру полупроводниковый термистор, нагревательный элемент и термистор подпружинены пружинами, обеспечивает термический контакт. Питание нагревателя и мостовой схемы осуществляется через разъем.

На базе расчетных зависимостей рассмотренного выше метода нами созданы рабочая формула и конструкция датчика, с помощью которого, помимо определения теплофизических характеристик материалов, непосредственно в строительных конструкциях, а не в подготовленных образцах. Это позволяет оценить изменения теплофизических свойств материала в строительных конструкциях в процессе их длительной эксплуатации.

2.3. Теоретические исследования теплообмена строительных конструкций с окружающей средой с применением плоского нагревателя

Учитывая несовершенство существующих приборов определения теплофизических свойств материалов в массиве конструкций нами в основу разработки датчика, положены известные теоретические исследования акад. А.В. Лыкова в области теплообмена, происходящего в системе тел, находящихся между собой в тепловом контакте при наличии источника тепла, помещенного между соприкасающимися поверхностями с постоянным по времени тепловыделением [88].

Поэтому нами для определения теплофизических характеристик материалов был использован другой метод измерения теплопроводности. Его суть в следующем. На площади 100 x 100 мм использовался плоский датчик, в котором плоский нагревательный элемент с минимальной массой и теплоемкостью, температура которого контролируется по всей поверхности, накладывается на исследуемую поверхность. При стабильном тепловом потоке при контакте с исследуемой поверхностью температура его изменяется за счет теплопередачи контактным методом. Изменение температуры прямопропорционально теплопроводности.

При этом, необходимо исходить из положения, что обеспечить тепловой контакт плоского нагревателя с исследуемой поверхностью таким образом, чтобы выделяемый стабильный тепловой поток уходил в сторону образца и создавал теплоизоляцию со стороны температурного датчика. В первоначальном приближении до включения теплового нагревателя температуры поверхности нагревателя и исследуемой поверхности были приблизительно равны. В качестве приемников теплового потока предлагается использовать как металлические термометры

сопротивления, так и полупроводниковые термисторы. Основным элементом плоского датчика является нагревательный элемент (рис. 2.7).

По всей поверхности нагревателя расположено 100 ниток из константанового провода. Аналогично изготавливается и металлический термометр сопротивления из медной проволоки. Термометр сопротивления аналогичен по конструкции нагревательному элементу, но имеет медный провод 0,05 мм и общее сопротивление термометра составляет 300 Ом.

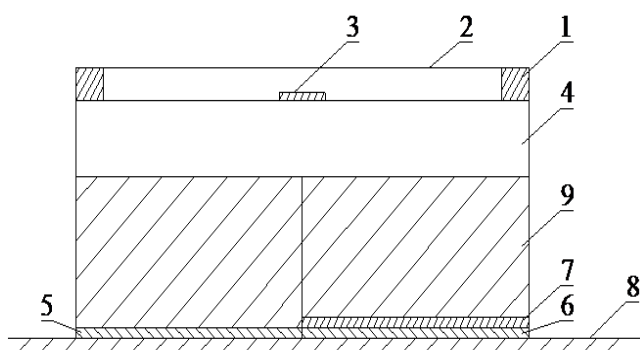


Рис. 2.6. Плоский датчик для измерения тепловой активности исследуемых материалов с λ меньше $0,35 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$:

1 – защитное кольцо; 2 – крышки датчика; 3 – термометр окружающей среды; 4 – основа из фторопласта; 5, 7 – проволочный термометр; 6 – плоский нагреватель; 8 – исследуемая поверхность; 9 – резина.

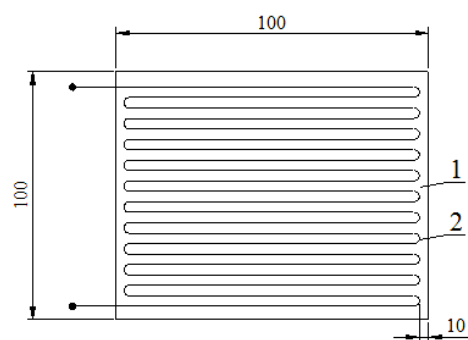


Рис. 2.7. Конструкция нагревательного элемента:

1 – основа лакоткань из стекловолкна;
2 – нить из константана $d = 0,1 \text{ мм}$.

Первоначально нам необходимо отградуировать металлический термометр. Для этого нагревательный элемент (рис. 2.7) и металлический термометр накладывают друг на друга таким образом, чтобы нити нагревателя и нити термометра лежали крест на крест.

Между слоем нагревателя и металлического термометра сопротивления располагается хромель-копелевая термопара и из проволоки 0,1 мм. По бокам укладывается по слою вспененного полиэтилена, толщиной 10 мм и на рис. 2.8 приведены графики ряда измерений при нагревах до $+100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Из графиков (рис. 2.8) видно, что изменения сопротивления металлического термометра зависят от нагрева. Но при этом увеличивается мощность потребления, а температура измерений выходит из ряда «естественных».

Необходимо учитывать и фактор теплоемкости плоского датчика. Если мы уменьшим тепловой поток от плоского датчика к исследуемому материалу, то время его охлаждения и уравнивания с температурой исследуемой ограждающей поверхности уменьшится. Для повышения точности измерения с сохранением чувствительности было предложено использование полупроводникового термистора.

С целью уменьшения потребляемой мощности с одновременным повышением чувствительности были испытаны полупроводниковые терморезисторы типа СТ319, с ТКС при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3,4 – 4,5 %: сопротивление резистора при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2,2 Ом. Постоянная времени 3 сек, что на порядок выше металлического термометра сопротивления. Термосопротивление СТ319 представляет собой бусинку диаметром 2 мм. При этом, для достижения одномерности теплового потока необходимо, чтобы боковые поверхности эталона (датчика) и образца имели хорошую тепловую изоляцию. Чем совершенней тепловая изоляция системы, тем ближе распределение температуры внутри исследуемого материала к распределению температуры в безграничной пластине.

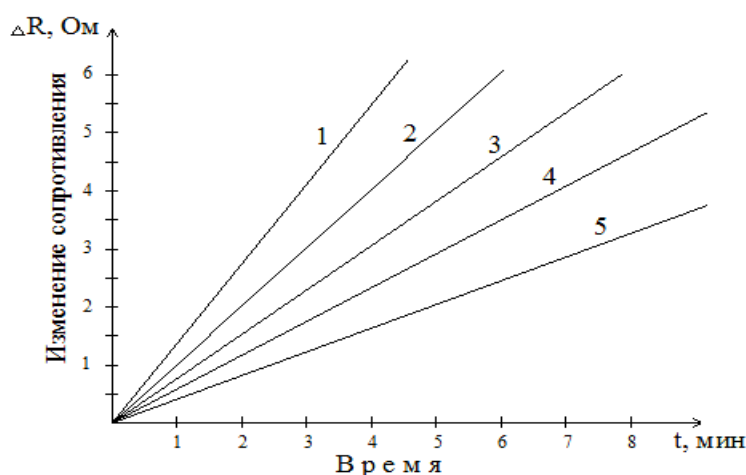


Рис. 2.8. Калибровочные кривые металлического термометра при напряжении питания 5,6 В: кривая 1 – при токе нагревателя 300 мА; кривая 2 – при токе нагревателя 250 мА; кривая 3 – при токе нагревателя 200 мА; кривая 4 – при токе нагревателя 150 мА; кривая 5 – при токе нагревателя 100 мА.

$Q_1=1,68\text{ Вт}$; $Q_2=1,4\text{ Вт}$; $Q_3=1,12\text{ Вт}$; $Q_4=0,84\text{ Вт}$; $Q_5=0,56\text{ Вт}$.

При выборе эталонных образцов согласно исследованиям [114], если длина и ширина эталона значительно больше его толщины (что практически выполнено в плоских датчиках), то боковыми потоками тепла, которые в силу своей незначительности мало влияют на результаты измерений, можно, с достаточной для инженерных расчетов точностью, пренебречь. Соотношение между высотой расположения компенсационного термометра и продолжительностью опыта определяется согласно нашим расчетам следующим образом.

Для того чтобы средняя относительная температура θ не превышала значения $\theta = 0,001 = 0,1\%$, должно соблюдаться условие:

$$\theta = ierfc\left(\frac{h_3}{2\sqrt{a_3 Z}}\right) \quad (2.27)$$

По условию $\theta = 0,001$, следовательно:

$$\frac{h_3}{2\sqrt{a_3 Z}} \geq 2.5 \quad \text{или} \quad h_3^2 = 25a_3 Z \quad (2.28)$$

Это соотношение позволяет связать максимально допустимую продолжительность эксперимента Z с высотой h_3 датчика, изготовленного из материала, температуропроводность которого равна a_3 .

Нагреватель имеет тепловой контакт IV рода с полубесконечной средой, характеризующейся неизвестными теплофизическими константами λ и a с одной стороны, а с другой – полубесконечной средой, у которой эти параметры известны и составляют λ_3 и a_3 . Применительно к условиям решения задачи, зависимость температуры некоторой точки среды, лежащей на расстоянии x от нагревателя, от времени нагрева была представлена в виде следующей зависимости:

$$\theta = \frac{t_1(x, Z) - t_0}{t_0} = \frac{2q_0}{\lambda \cdot t_0} \sqrt{aZ} \frac{K_\varepsilon}{1 + K_\varepsilon} ierfc \frac{\delta}{2\sqrt{a_1 Z}} \quad (2.29)$$

где $t_1(x, Z)$ - температура в плоскости, удаленной на расстояние x от плоскости нагревателя в момент времени τ ;

t_0 - температура в начальный момент времени;

K_ε - критерий, характеризующий тепловую активность первого тела (исследуемого материала) по отношению ко второму (эталону).

$$K_\varepsilon = \frac{K_\lambda}{\sqrt{K_a}} \quad (2.30)$$

где K_λ - критерий, характеризующий относительную теплопроводность тела.

$K_a = \frac{a_1}{a_2}$ - критерий, характеризующий теплоинерционные свойства второго

тела относительно первого тела.

$$K = 2q_0 \sqrt{Z} \cdot ierfc \frac{\delta}{2\sqrt{a_3 Z}} \quad (2.31)$$

Путем преобразования и ввода соответствующего обозначения, получим:

$$\frac{\lambda}{\sqrt{a}} = \frac{2q_0 \sqrt{Z}}{\Delta t} ierfc \frac{\delta}{2\sqrt{a_3 Z}} - \frac{\lambda_3}{\sqrt{a_3}} \quad (2.32)$$

Значения функции $ierfc(z)$ могут быть найдены по таблицам [88, 107]. Не представляет затруднение также и определение теплофизических свойств эталона (резины). Из рассмотрения уравнения (2.32) следует, что действие датчика основано на измерении в определенный момент времени Z разности температур Δt в различных плоскостях, параллельных нагревателю, одна из которых совмещена с ним ($\delta = 0$), а другая находится в бесконечности, под действием его теплового поля (в приборе практически на расстоянии 70 мм от нагревателя). При принятых фиксированных значениях q_0 и Z формула (2.32) будет иметь вид:

$$\frac{\lambda}{\sqrt{a}} = \frac{K}{\Delta t} - \frac{\lambda_3}{\sqrt{a_3}}, \quad (2.33)$$

где

$$K = 2q_0 \sqrt{Z} \cdot ierfc \frac{\delta}{2\sqrt{a_3 Z}}, \quad (2.34)$$

$$\lambda = \left[\frac{2q_0 \sqrt{Z}}{\Delta t} ierfc \frac{\delta}{2\sqrt{a_3 Z}} - \frac{\lambda_3}{\sqrt{a_3}} \right] \cdot \sqrt{a_3}. \quad (2.35)$$

Зная объемный вес γ и теплоемкость c исследуемого материала (определение которых не вызывает затруднений), при известных теоретических параметрах эталона λ_0 и a_0 , совместным решением уравнений (2.33) и (2.34) находятся значения коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a исследуемого материала.

Конструктивно датчик (рис. 2.6), представляет собой резиновый цилиндр диаметром 120 мм, на одном из оснований которого приклеен плоский нагреватель. Сопротивление нагревателя составляет 1500 Ом и он рассчитан на питание напряжением 10-12 В. Нагреватель выполнен из константана провода диаметров 0,1 мм и защищен с наружной стороны тонким слоем лакоткани. На расстоянии «б» от нагревателя в цилиндре вклеен плоский термометр сопротивления, рабочая площадь которого, для исключения влияния краевого эффекта, несколько меньше поперечного сечения цилиндра. На расстоянии ($h_2 = 75$ мм) от нагревателя подобно первому расположен второй термометр сопротивления (компенсационный), покрытый снаружи тонким защитным слоем. Термометры сопротивления величиной 350 Ом изготавливались из медной проволоки $d = 0,05$ мм. Датчик представляет резиновую призму со встроенным в нее нагревателем и термометрами сопротивления (рис. 2.7).

На основании расчетных данных был проведен анализ области измерения реальных значений коэффициента теплопроводности материалов, применяемых для ограждающих конструкций.

2.4. Определение начальных и граничных условий применения датчиков при изменении теплотехнических свойств строительных конструкций в процессе эксплуатации.

При проведении исследований нами были сделаны следующие допущения:

1. Дифференциальное уравнение теплопроводности справедливо при условии, что тепловой поток распространяется только в одном направлении (x или z) [13]:

$$\frac{\partial t}{\partial Z} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (2.36)$$

где Z - время;

t - температура;

c - удельная теплоёмкость;

a - коэффициент температуропроводности: $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$

Для осуществления на практике одномерности теплового потока необходимо, чтобы боковые поверхности эталона (датчика) и образца имели хорошую тепловую изоляцию. Чем совершенней тепловая изоляция системы, тем ближе распределение температур в безграничной пластине. Как показали проведенные исследования А.С. Сендецкого и Л.И. Слободянюка [114], установлено, что если длина и ширина эталона значительно больше его толщины (что практически выполнено в плоских датчиках приборов), то боковыми оттоками тепла, которые в силу своей незначительности мало влияют на результаты измерений, можно с достаточной для инженерных расчетов точностью, пренебречь.

2. Дифференциальное уравнение теплопроводности (2.36) интегрируется при заданных начальных и граничных условиях. В начальный момент времени $Z = 0$ вся система «эталонное тело – исследуемый массив» должна иметь одинаковую температуру, принимаемую за начало отсчета. Это достигается путем выдержки датчика в течение 6 – 10 мин в состоянии теплового контакта с исследуемым материалом, поверхность которого в месте замера предварительно тщательно шлифуется. Очевидно, что для выполнения этого условия нельзя проводить повторные измерения с теми же образцами или монолитом исследуемого материала, пока их температура не придет в равновесие с температурой окружающей среды.

3. Одно из граничных условий решения дифференциального уравнения (2.36) применительно к теплофизическим приборам $t(\infty, t)$ требует, чтобы за время опыта Z тепловой поток от нагревателя не достигал компенсационного термометра, встроенного в нерабочую поверхность датчика и предназначенного для определения температуры системы.

Соотношение между высотой расположения компенсационного термометра и продолжительностью опыта определяется согласно нашим расчетам следующим образом.

Для того чтобы средняя относительная температура θ не превышала значения θ

$= 0,001 - 0,1\%$, должно соблюдаться условие:

$$\theta = \operatorname{ierfc}\left(\frac{h_3}{2\sqrt{a_3 Z}}\right) \quad (2.37)$$

По условию $\theta = 0,001$, следовательно:

$$\left(\frac{h_3}{2\sqrt{a_3 Z}}\right) \geq 2,5 \text{ или } h_3^2 = 25a_3 Z \quad (2.38)$$

Это соотношение позволяет связать максимально допустимую продолжительность эксперимента Z с высотой датчика h_3 , изготовленного из материала, температуропроводность которого равна a_3 .

4. В любой момент времени на границе соприкосновения датчика прибора с поверхностью исследуемого материала должен отсутствовать «температурный скачок», т.е. температура соприкасающихся поверхностей должна быть одинаковой. Это условие осуществляется при наличии хорошего теплового контакта между этими средами, что достигается лишь при использовании образцов с ровными и плоскими торцами. Для достижения хорошего теплового контакта необходимо предусмотреть в конструкции приборов требуемое прижатие датчиков к исследуемому материалу, а также использование специальной смазки (парафин, клей БФ-2) для сглаживания шероховатостей отшлифованных поверхностей.

5. При этом граничные условия можно записать в следующем виде, что определяет непрерывность теплового потока на границе двух сред:

$$t_1(R_4, Z) = t_2(R_m, Z); \quad t_1(R_4, Z) = t_2(R_5, Z) \quad (2.39)$$

Выполнение этих условий в приборах достигается теплоизоляцией боковой поверхности датчика специальной резиновой или пластиковой прокладкой. Кроме этого, это условие требует, чтобы все тепло от нагревателя датчика передавалось в исследуемый материал только теплопроводностью путем контакта. Испытания кольцевого датчика производили на образцах материалов ограждающих конструкций.

Целью данных испытаний являлось установление работоспособности прибора, анализ распространения температурных полей в исследуемых образцах при воздушной прослойке. Воздействие кольцевого нагревателя датчика прибора с

постоянным во времени удельным тепловыделением q_0 , оценка влияний основных граничных условий на формирование температурного поля в полуограниченном теле. Обобщение экспериментальных данных проводилось для подтверждения правильности выбранного метода и принятой рабочей формулы прибора. Из испытуемых материалов изготавливались специальные образцы, имеющие форму цилиндра или плоскопараллельных пластин. Соотношение между линейными размерами образцов должно удовлетворять предельному условию:

$$K = \frac{h}{R'} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{2}, \quad (2.40)$$

где h - толщина (высота) образца;

R' - радиус образца.

После заделки термопар в исследуемый образец, которая производилась по общеизвестной методике [4, 21], естественным путем производилось выравнивание температур, как по объему образца, так и во всей системе «датчик – исследуемый материал». Выравнивание температур образца и наступление теплового равновесия системы фиксируется по показаниям регистрирующего индикатора прибора и составляет от 10 до 15 минут. После включения нагревателя, в течении одной минуты наблюдается «мертвая пауза» и ее фиксация измерительным термосопротивлением датчика прибора. Измерение температуры внутри образца проводилось пятью соответственно тарированными термопарами. Схема установки термопар в исследуемых строительных конструкциях приведена на (рис. 2.9).

Точность определения теплофизических характеристик плоского датчика, в том числе и кольцевого, зависит от условий выполнения одномерности тепловых потоков, а также от точности, с которой определены величины теплового потока и характер его распределения в образце исследуемого материала.

Как указывает Д.Л. Тимрот [120], критерием, позволяющим судить об отсутствии боковых теплопотерь, является линейная зависимость термического сопротивления образца от его высоты. Отношение между линейными размерами цилиндра ($K = \frac{1}{4}$) совпадает с теоретическими расчетами [118,124], и нашими экспериментальными данными.

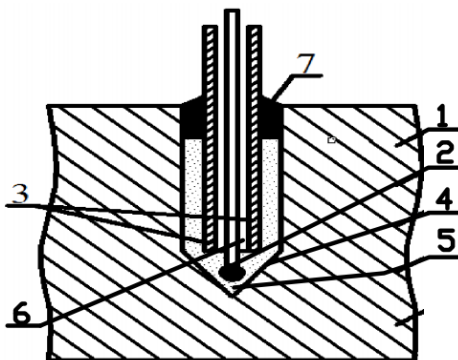


Рис. 2.9. Способ установки термопар в образце исследуемого строительного материала (силикатный кирпич):

1 – образец строительного материала (силикатный кирпич); 2 – королек термопары; 3 – термоэлектроды; 4 – канал, высверленный в образце; 5 – материал образца; 6 – фарфоровая трубочка; 7 – паста из порошка материала и клея.

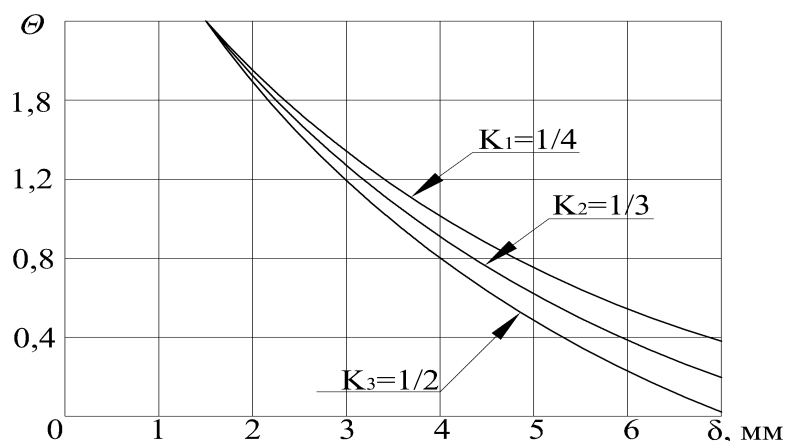


Рис. 2.10. Динамика изменения температуры при испытании датчика в зависимости от размеров образца

Проведенный нами анализ температурных полей показывает, что для пластины условие одномерности в центральной области выполняется с относительно высокой степенью точности во всем диапазоне измерения температур вплоть до стационарного

состояния, если параметр $K \leq \frac{1}{4}$. Для цилиндра это имело место при $K \geq 3$. В

нестационарном режиме для пластины и цилиндра соответственно $K \leq \frac{1}{3}$; $K \geq 2$ (при значениях $Fo = 0,6$). На основании полученных данных на рис. 2.10 приведено

изменение относительной температуры $\theta = \frac{T(x, \tau)}{T_c}$ в центре полуограниченных

цилиндра и пластины при различных значениях параметра « K » в зависимости от глубины проникновения теплового потока δ .

При использовании кольцевого датчика следует тщательно выбирать соотношения между размерами кольцевого нагревателя и исследуемых образцов. Если размеры образца достаточно велики (по крайней мере, в пять раз больше диаметра кольца во всех направлениях), то при каждом из трех интервалов времени ($Z = 1 \div 3$ мин) мы получили одинаковые значения коэффициента теплопроводности (погрешность $\pm 3 \div 5\%$).

На образцах с меньшими размерами и при больших интервалах времени измерений может оказаться нарушенным одно из начальных условий метода кольцевого нагревателя, а именно постоянство температуры во внешней границе образца. Эта температура может начать повышаться, и среднюю нельзя будет рассматривать как полуограниченную. Нами исследовано влияние параметров образца на максимальное время Z , в течение которого еще остаются в силе граничные условия. Был выбран образец, минимальный размер которого составлял семь диаметров кольца; затем размеры его постепенно уменьшали и после каждого уменьшения повторяли измерения. Были получены следующие результаты (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Минимальный размер образца (в диаметрах кольца нагревателя) в относительных единицах	Z , мин	«Мертвая пауза», мин
1	1	1
2	1	1
2,5	1,5	1
3	2	1,5
5	3	1,5

В результате исследований нами установлено время «мертвой паузы» прибора – время задержки начала повышения температуры образца относительно температуры окружающей среды.

На основе известных рассмотренных решений [107,113] в анализе экспериментальных исследований теплофизических характеристик материалов, проведенных с помощью кольцевого датчика, можно сделать вывод, что при определенных соотношениях между линейными размерами образцов изменение

температуры в некоторых центральных их областях полностью соответствуют аналогичным изменениям температурного поля в неограниченных телах при использовании плоских датчиков и других конструкций, основанных на решении уравнения Фурье [17, 80].

На основе представленных закономерностей изменения температурных полей в теле образца определялись теплофизические свойства материала и интенсивность теплообмена его с окружающей средой. В любом случае исследуемый образец отделен от среды некоторым пограничным слоем, представляющим собой определенное термическое сопротивление, ухудшающее теплообмен. Побочные (контактные) термические сопротивления имеют место также при соприкосновении тел с одинаковыми или различными свойствами. Точность определения теплофизических характеристик во многом определяется отношением термического сопротивления исследуемого материала к контактному термическому сопротивлению плоского датчика. Чем выше это отношение, тем точнее при прочих равных условиях будут определены теплофизические свойства материалов. При одних и тех же размерах соприкасающихся тел и условиях сопряжения с окружающей средой это отношение всегда будет больше для плохих проводников тепла, чем для более теплопроводных. Сущность основных способов уменьшения контактного термического сопротивления сводится в основном к тщательной обработке соприкасающихся поверхностей и замене газовой прослойки между ними более теплопроводным веществом. Аналитическая оценка влияния контактных термических сопротивлений на формирование температурных полей в образцах исследуемых материалов, а следовательно, и на точность определения теплофизических характеристик материала, представляет собой сложную и до конца не решенную задачу. Она значительно упрощается, если можно пренебречь собственной теплоемкостью слоя, составляющего контактное сопротивление.

Допустим, что поверхность неограниченной пластины $x = R'$ отделена от окружающей среды, имеющей постоянную температуру $T_c \neq T(x,0)$, тонкой пленкой какого-либо вещества, имеющей теплопроводность λ_2 и толщину ε_T .

Пренебрегая собственной теплоемкостью пленки, можно считать, что количество тепла q_0 , выделенное нагревателем датчика и протекающее через нее, отнесенное к единице площади в единицу времени будет равно:

$$q_0 = \frac{\lambda_2}{\delta_T} [T_c - T(R, Z)] \quad (2.41)$$

Интенсивность теплообмена поверхности пластины с окружающей средой характеризуется критерием Био:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_1} \quad (2.42)$$

где λ_1 - коэффициент теплопроводности исследуемого образца.

Тепловое сопротивление пленки $\frac{\lambda_2}{\delta_T}$ можно представить, как коэффициент теплообмена между нагревателем и образцом.

$$\alpha = \frac{\lambda_2}{\delta_T} \quad (2.43)$$

Подставив (2.43) в равенство (2.42) получим:

$$Bi = \frac{K_R}{K_\lambda} \quad (2.44)$$

где $K_R = \frac{R}{\delta_T}$.

Значения (K_λ) и (Bi) для различных пленок на поверхностях различных тел для двух значений (K_R) выбираем в справочнике [117].

Для оценки влияния термических сопротивлений (без учета их теплоемкости) на формирование температурного поля исследуемого образца рассмотрим его полуограниченное тело, начальная температура которого равна нулю. При тепловом контакте кольцевого датчика с исследуемым материалом температура точки среды, лежащей на расстоянии (x) от нагревателя определяется по следующему выражению ($\alpha \rightarrow \infty$).

$$\frac{T(x, Z)}{T_c} = \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a_1 \cdot Z}} \quad (2.45)$$

Предположим, что $x = 0,01 \text{ м}$, а время (Z) выберем равным для материала датчика (константан) $Z = 732 \text{ с}$. Тогда для всех твердых тел $\frac{x}{2\sqrt{a_1 \cdot Z}} = 0,477$, а величина $\theta = \frac{T(x, Z)}{T_c}$ при $\alpha \rightarrow \infty$ составит $\theta = 0,5$.

В [117] приведены величины $\theta = \frac{T(x, Z)}{T_c}$, рассчитанные по формуле (2.45) для различных поверхностных пленок. Эта таблица дает представление об отклонении температуры центра полуограниченного тела от идеального случая $\theta = 0,5$ при наличии различных поверхностных пленок и для различных исследуемых тел. Эту величину необходимо учитывать при проведении всех теплофизических исследований, основанных на решении нестационарного метода определения теплопроводности.

Большинство методов определения теплофизических характеристик, в которых применяют источники тепла постоянной мощности, основывается на решении задач теплопроводности в предположении, что теплоемкость нагревателя равна нулю. Однако все используемые нагреватели имеют конечную величину теплоемкости, которая, естественно, будет оказывать истекающее влияние на формирование нестационарного температурного поля в испытуемом образце и, в конечном счете, на точность определения теплофизических характеристик материала. Применяемый способ оценки влияния собственной теплоемкости нагревателя кольцевого датчика заключается в том, что в граничное условие, характеризующее действие источника в определенном сечении образца, вводится так называемый «отрицательный» источник, мощность которого равна произведению удельной теплоемкости нагревателя на скорость изменения его температуры. Тогда граничное условие в плоскости действия источника записывается в виде:

$$-\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)_{x=x_n} = q_0 - c_n \left(\frac{\partial T}{\partial Z} \right)_{x=x_n} \quad (2.46)$$

где x_i - координата действия источника постоянной мощности;

c_n - теплоемкость нагревателя.

Решение уравнений теплопроводности с использованием условий (2.45) позволило получить выражение для температурного поля, учитывающего теплоемкость нагревателя. Применяя метод интегрального преобразования Лапласа, получим решение для первой ($0 \leq x \leq R_1$) и второй ($R_1 \leq x \leq R_2$) границ нагревателя в следующем виде:

$$\frac{\theta_1}{K_{u\tau}} = \frac{K_R}{1+K_R} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n^2 \psi_n} \cdot \sin \mu_n \frac{1+K_R - \frac{x}{R_1}}{1+K_R} \cdot \cos \mu_n \frac{1}{\sqrt{K_a}} \cdot \frac{1}{1+K_R} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot F_0); \quad (2.47)$$

$$\frac{\theta_2}{K_{u\tau}} = \left(1 - \frac{x}{R_2}\right) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n^2 \psi_n} \cdot \sin \mu_n \frac{1+K_R - \frac{x}{R_1}}{1+K_R} \cdot \cos \mu_n \frac{1}{\sqrt{K_a}} \cdot \frac{1}{1+K_R} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot F_0) \quad (2.48)$$

где μ_n - корни характеристического уравнения. Их значения приведены в [134];

$K_{u\tau}$ - критерий Кирпичева;

F_0 - критерий Фурье.

$$K_R = \frac{R_2}{R_1}; \quad K_a = \frac{a_1}{a_2}; \quad K_\varepsilon = \frac{K_\lambda}{\sqrt{K_a}}; \quad Q_{1,2} = \frac{T_{1,2}(x, \tau) - T_0}{T_0}$$

Относительную ошибку определения теплофизических характеристик материала без учета теплоемкости нагревателя можно определить из выражения:

$$\varepsilon = \frac{\mu_{1\infty}^2 - \mu_1^2 \left[\frac{1}{1 + \frac{2}{K_R} + \frac{1}{2K_R^2}} \right]}{\mu_{1\infty}^2} \cdot 100, \% \quad (2.49)$$

Значения первого и второго корней характеристического уравнения ($\mu_{1\infty}^2, \mu_1^2$) для некоторых сочетаний K_ε, K_a в зависимости от K_R приведены в [134]. На рис. 4.3 приведены кривые изменения ε в зависимости от параметра K_R при известных значениях K_ε и K_a , при которых погрешность в определении теплофизических

характеристик не превышает наперед заданной величины ε . При использовании датчиков в приборе, изготовленном из константана, нами установлено, что ошибка в определении теплофизических характеристик без учета теплоемкости источника колеблется в пределах 0,5 – 1%.

В результате проведенных исследований нами установлено изменение величины погрешности измерений при определении теплопроводности с использованием плоского и кольцевого нагревателей для материалов с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,2 \div 0,67 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ (рис. 2.11а).

Проведенный анализ измерений показал, что при увеличении плотности материалов ($\lambda = 0,2 \div 0,67 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) погрешность при измерении с использованием плоского нагревателя значительно меньше и не превышает 4%, а при использовании кольцевого нагревателя – до 7%.

На рис. 2.11б приведены исследования изменения погрешности материалов с $\lambda = 0,67 \div 1,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ с использованием плоского и кольцевого датчиков.

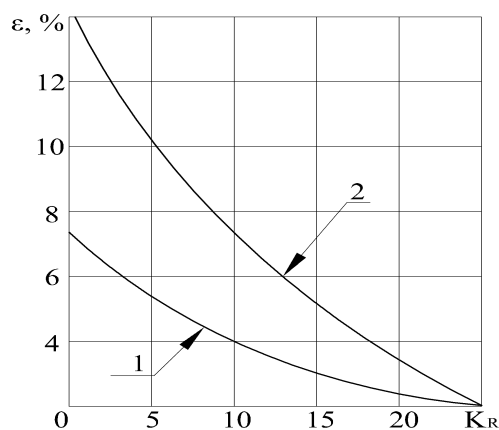


Рис. 2.11а. Изменение относительной ошибки измерения теплофизических характеристик материалов плоским и кольцевым датчиками ($\lambda = 0,2 \div 0,67 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$):

1 – плоский датчик; 2 – кольцевой датчик.

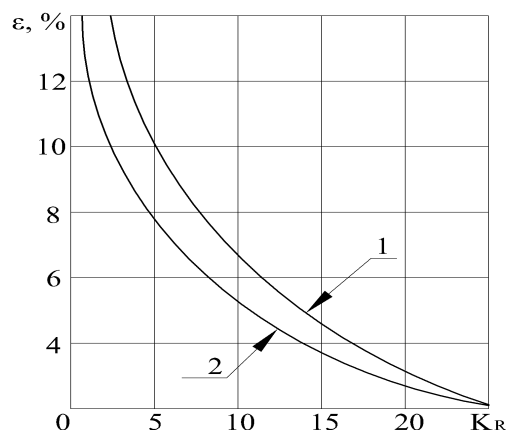


Рис. 2.11б. Изменение относительной ошибки измерения теплофизических характеристик материалов плоским и кольцевым датчиками ($\lambda = 0,67 \div 1,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$):

Проведенный анализ показал, что погрешность измерений кольцевым и плоским датчиками ($\lambda = 0,67 \div 1,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$) приблизительно составляет 3,5 ÷ 5%.

На рис. 2.11в приведены значения погрешности измерений материалов с $\lambda = 1,2 \div 2,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$ с использованием плоского и кольцевого датчиков.

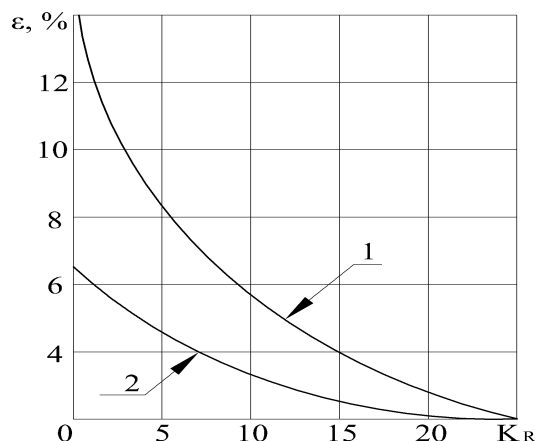


Рис. 2.11в. Изменение относительной ошибки измерения теплофизических характеристик материалов плоским и кольцевым датчиками ($\lambda = 1,2 \div 2,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$): 1 – плоский датчик; 2 – кольцевой датчик

Анализ проведенных исследований показал, что при применении кольцевого нагревателя погрешность составляет $2,5 \div 3,0\%$, а при использовании плоского нагревателя – до 8% .

На основе проведенных исследований погрешностей с учетом коэффициента теплопроводности исследуемых материалов, условно разбитых на три группы: 1) $\lambda = 0,2 \div 0,67 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$; 2) $\lambda = 0,67 \div 1,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$; 3) $\lambda = 1,2 \div 2,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$, можно заметить расхождения значений погрешности между конструкциями датчиков, что представлено на графиках (рис. 2.13а – 2.13в). Это позволяет сделать вывод о следующей рациональности определения теплофизических характеристик с учетом погрешностей в таких группах материалов: $\lambda = 0,2 \div 1,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$ – плоским датчиком; $\lambda = 1,2 \div 2,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}$ – кольцевым датчиком.

2.5. Выводы по разделу 2

1. На основании теоретических исследований проведено обоснование применения датчика с кольцевым и плоским нагревателем для определения теплофизических свойств строительных ограждающих конструкций с несимметричной схемой укладки с одной стороны исследуемого материала.

2. В результате проведенных исследований определены начальные и граничные условия применения датчиков с кольцевым и плоским нагревателем при исследовании теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций зданий.

3. Проведенные исследования позволили оценить погрешность и провести обоснование применения датчиков с кольцевым нагревателем. Так установлено, что при определении с использованием данного датчика коэффициента теплопроводности строительных материалов в диапазоне $\lambda = 0,2 \div 0,67$ погрешность составляет 7% и более; в диапазоне $\lambda = 0,67 \div 1,2$ – погрешность 5%; $\lambda = 1,2 \div 2,05$ – погрешность до 3%.

4. Проведенные исследования позволили оценить погрешность и провести обоснование применения датчиков с плоским нагревателем. Так установлено, что при определении с использованием данного датчика коэффициента теплопроводности строительных материалов в диапазоне $\lambda = 0,2 \div 0,67$ погрешность составляет 4%; в диапазоне $\lambda = 0,67 \div 1,2$ – погрешность до 5%; $\lambda = 1,2 \div 2,05$ – погрешность 8% и более.

5. В результате проведенных исследований установлено, что в процессе эксплуатации зданий и сооружений изменяются теплотехнические свойства строительных материалов, в частности увеличивается коэффициент теплопроводности. Использование датчиков с кольцевым и плоским нагревателем дает возможность прогнозировать изменение данного коэффициента и соответственно контролировать параметры микроклимата помещений, в том числе и температуру на внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции.

РАЗДЕЛ 3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ПРИ АВАРИЙНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

3.1. Исследование охлаждения внутренних поверхностей помещений при аварийном отключении системы теплоснабжения

При оценке условий микроклимата на соответствие ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» одним из требований к параметрам микроклимата является температура внутренней поверхности ограждения. Для обеспечения нормативных параметров микроклимата в зданиях и сооружениях в холодный период года работает система отопления. В то же время, как показывает мировой опыт в Украине до настоящего времени не решен вопрос экономии энергоресурсов, что ведет к необоснованному использованию теплоносителей без учета температурного режима в помещениях и потери тепла через ограждающие конструкции. Поэтому возникла необходимость провести исследования изменения температуры на внутренних поверхностях помещений при охлаждении вследствие отключения отопления, что позволяет оценить соответствие микроклимата в помещении санитарным нормам и при необходимости управлять процессом.

В общем виде распространение тепла в 3-х мерной стенке описывается дифференциальным уравнением [13]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (3.1)$$

где τ - время;

t - температура;

c - удельная теплоёмкость;

a - коэффициент температуропроводности: $a = \frac{\lambda}{0,278c\gamma}$.

При одномерном распространении тепла выражение (3.1) будет иметь вид (вместо τ будем применять Z):

$$\frac{\partial t}{\partial Z} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (3.2)$$

При решении данного уравнения были приняты краевые условия: начальные условия - тепловые условия в стенке в начальный момент ($Z = 0$) и граничные условия - тепловые условия на границах стенки во время рассматриваемого процесса. Нами рассмотрено решение данного уравнения для случая падения температуры на внутренней поверхности ограждения, когда $X = 0$ (рис. 3.1).

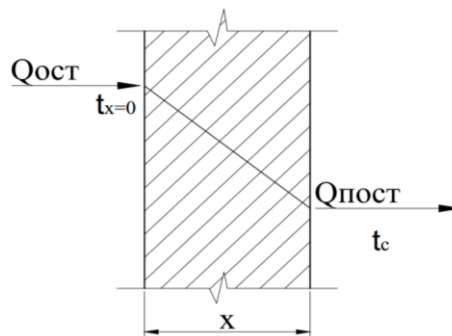


Рис. 3.1. Распределение тепловых потоков при остывании внутренней поверхности помещения

Так как охлаждение конструкций начнётся с внутренней поверхности и дойдёт до наружной лишь по прошествии более или менее длительного времени, то для начальной стадии охлаждения стенки можно принять температуру наружной поверхности постоянной, считая её равной температуре наружного воздуха. Уравнение для падения температур на внутренней поверхности стенки будет иметь вид [3, 6, 13]:

$$\frac{v_{x=0}}{v_0} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{x^2}} + \frac{1}{3^2} e^{-\left(\frac{3\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{x^2}} + \frac{1}{5^2} e^{-\left(\frac{5\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{x^2}} + \dots \right), \quad (3.3)$$

где $v_0 = t_{нач} - t_c$, °С ($t_{нач} - t_c$ - соответственно заранее заданные начальная температура и температура среды);

$v = t - t_c$ (t - текущая температура, меняющаяся с течением времени);

$v_{x=0} = t_{x=0} - t_c$, ($t_{x=0}$ - текущая температура на внутренней поверхности стенки);

X - толщина стенки, м.

Уравнение (3.3) можно представить в виде графиков на рис. 3.2.

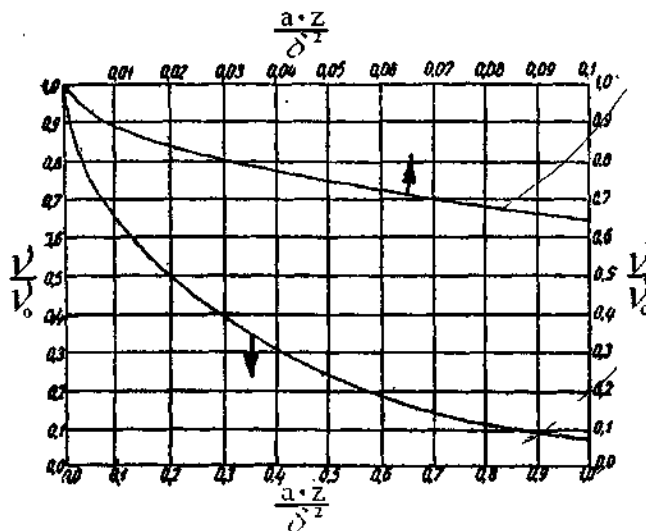


Рис. 3.2. Значение $\frac{v}{v_0}$ для внутренней поверхности стенки при постоянной температуре среды с момента $Z = 0$.

Определив $\frac{v_{X=0}}{v_0}$ можно установить фактическое значение температуры $t_{X=0}$ при заданном времени Z , час.

$$t_{X=0} = \frac{v}{v_0}(t_{нач} - t_c) + t_c \quad (3.4)$$

Следует отметить, что решение уравнения (3.2) в форме (3.3) связано с предположением, что при отключении отопления с момента $Z = 0$ поступление тепла на внутреннюю поверхность ограждения полностью прекращается. Однако, как показал проведенный нами анализ, на практике это не всегда осуществимо. Лишь при паровом или воздушном отоплении может быть почти сразу прекращена подача тепла в помещение, кроме того, внутренние стенки и оборудование помещения будут по мере падения температуры воздуха со своей стороны выделять тепло. Таким образом, расчёт даёт несколько преувеличенный результат в отношении охлаждения стенки и является оценочным.

В [159] приведено решение этой задачи для 2-х охлаждающихся стенок из различных материалов:

- из силикатного кирпича ($\lambda = 0,82$ Вт/м $^{\circ}$ С; $c = 0,88$ кДж/кг $^{\circ}$ С; $\rho = 1800$ кг/м 3 ; $X = 0,64$ м);

- из железобетона ($\lambda = 1,92$ Вт/м $^{\circ}$ С; $c = 0,84$ кДж/кг $^{\circ}$ С; $\rho = 2500$ кг/м 3 ; $X = 0,64$ м).

На основе проведенных исследований авторами [159], полученные значения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций положены в основу оценки охлаждения внутренней поверхности стен, которые могут быть использованы для оценки микроклимата помещений. На рис. 3.3 приведены графики охлаждения внутренней поверхности стен из силикатного кирпича и железобетона при отключении системы отопления, полученные на основании произведенных расчётов [159], используя выше приведенную методику.

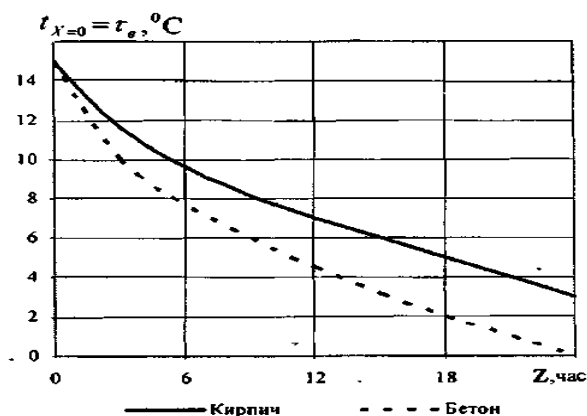


Рис. 3.3. Динамика охлаждения внутренних поверхностей кирпичной и железобетонной стенок.

Нами экспериментально было установлено, что во время эксплуатации зданий с течением времени под воздействием переменных климатических условий, увеличивается плотность материала ρ , а с ней такие важные теплотехнические характеристики как коэффициент теплопроводности λ и коэффициент температуропроводности a , влияющие в свою очередь на уменьшение общего термического сопротивления конструкций, что влечет за собой увеличение теплопотерь.

Учитывая, что охлаждение строительных конструкций зависит от их общего термического сопротивления, на основе проведенных нами исследований были определены температуры внутренней поверхности ограждения для шести типов зданий в момент отключения системы отопления с заданными теплотехническими характеристиками при вводе в эксплуатацию и с учетом их изменения в процессе длительной (более 10 лет) эксплуатации. При этом, температура наружного воздуха принята постоянной и равной температуре холодной пятидневки для г. Днепропетровска -23°C . Исследования проводились для наиболее широко эксплуатируемых типов зданий города.

1 тип. Жилые дома из керамзитобетона, которые эксплуатируются в течение 10 лет (ж/м Тополь - 3, дом № 4 серии 1-464-Д83; ж/м Победа - 6 ул. Добровольцев, дом №6 серии 90 со следующими теплотехническими характеристиками: $\rho = 800 \div 1800 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; $\lambda_o = 0,21 \div 0,66 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$; $X = 0,38 \text{ м}$.

2 тип. Жилые дома из керамического пустотелого кирпича (ул. Исполкомовская, 27а) со следующими теплотехническими характеристиками: $\rho = 1000 \div 1600 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; $\lambda_o = 0,35 \div 0,47 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$; $X = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м}$.

3 тип. Здания из тяжелого бетона (ул. Наб. Победы, 26 «Дом природы») со следующими теплотехническими характеристиками: $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; $\lambda_o = 1,69 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$; $X = 0,3 \text{ м}$.

4 тип. Жилые дома из полнотелого глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе (ул. Артема, 23) со следующими теплотехническими характеристиками: $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; $\lambda_o = 0,56 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$; $X = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м}$.

5 тип. Жилые дома из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе (ул. К. Цеткин, 5 общежитие ПГАСА) со следующими теплотехническими характеристиками: $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,88 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; $\lambda_o = 0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$; $X = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м}$.

6 тип. Здания из тяжелого бетона на гравии из природного камня (ул. Наб. Победы, 5 «Дом пионеров») со следующими теплотехническими характеристиками: $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$; $c = 0,84 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; $\lambda_o = 1,51 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$; $X = 0,3 \text{ м}$.

Приведенные начальные теплотехнические характеристики строительных материалов для всех шести типов зданий приняты согласно паспортным данным на применяемые материалы в период строительства.

Результаты проведенных исследований изменения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при выходе из стационарного состояния для всех типов зданий (λ_o - ввод в эксплуатацию; λ - при длительной эксплуатации (более 10 лет); λ_3 – экспериментальные данные) приведены в табл. 3.1 – 3.8.

На рис. 3.4 – 3.11 приведены установленные зависимости охлаждения внутренней поверхности ограждающих конструкций для каждого из шести типов

зданий при отключении системы теплоснабжения для периодов: ввода в эксплуатацию (λ_o) и при длительной эксплуатации (более 10 лет) (λ), полученные на основании произведенных расчётов, используя выше приведенную методику, а также зависимости, полученные экспериментальным путем (λ_3) на основе разработанных нами приборов и методического обеспечения.

Таблица 3.1

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий I типа ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_s, \text{ }^\circ\text{C}$		
	$\lambda_o = 0,21 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda = 0,31 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 0,32 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$
0	17,5	16,5	16,2
6	8,185	4,65	4,048
12	3,73	-0,485	-1,048
18	0,085	-4,04	-4,184
24	-1,94	-7,2	-7,32

Таблица 3.2

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий I типа ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_s, \text{ }^\circ\text{C}$		
	$\lambda_o = 0,66 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda = 0,92 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 0,96 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$
0	13,3	11,3	11
6	2,773	0,324	-0,22
12	-1,946	-5,164	-6
18	-4,85	-8,594	-9,06
24	-7,028	-11,34	-12,12

Проведенные нами исследования (рис. 3.4) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для I типа здания (керамзитобетон $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в керамзитобетоне происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_o = 0,21 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении

10 лет и более $\lambda_3 = 0,32$ Вт/м°C, $\rho_3 = 864$ кг/м³. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 47,6%. Разработанная ранее нами методика экспериментального определения теплотехнических характеристик строительных материалов конструкций показала, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,2%. Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 28% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций на основе керамзитобетона, что в свою очередь увеличивает теплотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на 4÷5°C.

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для I типа зданий, как показали нами проведенные исследования, значительное влияние оказали на работу ограждающих конструкций. Так, динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении только первых 3 часов приблизительно одинакова, а в дальнейшем градиент температуры увеличивается в среднем на 4÷5°C. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

На начало эксплуатации:

$$y_1 = 17,5 - 2,385x + 0,185625x^2 - 0,00875x^3 + 0,0001563x^4 \quad (3.5)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,55130E-0027

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_2 = 16,2 - 3,0271111x + 0,2087037x^2 - 0,0075617x^3 + 0,0001008x^4 \quad (3.6)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,41836E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 5,55130E-0027 и 1,41836E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо

описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

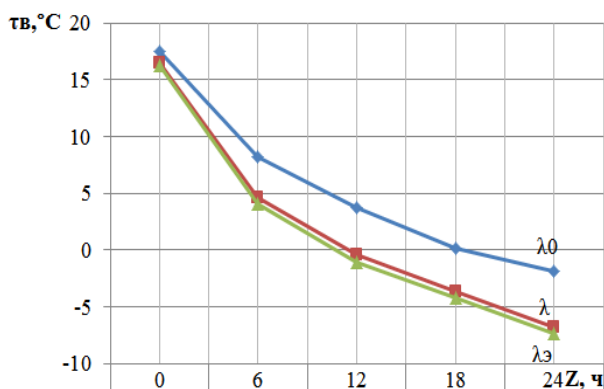


Рис. 3.4. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для I типа здания ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)

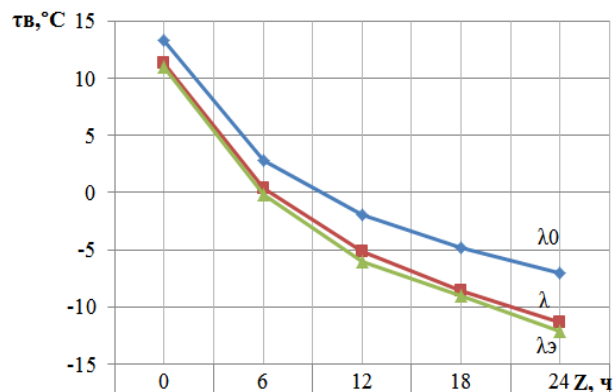


Рис. 3.5. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для I типа здания ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

λ_0 - при вводе в эксплуатацию; λ - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (теоретические значения); λ_3 - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (экспериментальные значения).

Проведенные нами исследования (рис. 3.5) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для I типа здания (керамзитобетон $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в керамзитобетоне с более высокой плотностью также происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,66 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$, $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_3 = 0,96 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$, $\rho_3 = 2124 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 71,7%. Разработанная ранее нами методика экспериментального определения теплотехнических характеристик строительных материалов конструкций показала, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности

практически совпадают, расхождение значений не превышает 4,3%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 22% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций на основе керамзитобетона, что в свою очередь увеличивает теплотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $3\div 4^{\circ}\text{C}$.

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для I типа зданий из керамзитобетона показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стен при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $4,3^{\circ}\text{C}$, а в среднем – $3\div 4^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

Таблица 3.3

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий II типа ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_s, ^{\circ}\text{C}$		
	$\lambda_o = 0,35 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda = 0,52 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda_s = 0,54 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$
0	17,5	16,4	16,2
6	10,615	8,52	7,576
12	7,78	4,974	4,44
18	5,755	3,004	2,088
24	4,945	1,428	0,52

На начало эксплуатации:

$$y_3 = 13,3 - 2,5813333x + 0,1730972x^2 - 0,0064421x^3 + 0,000934x^4 \quad (3.7)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,59269E-0026

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_4 = 11 - 2,4744444x + 0,1133333x^2 - 0,0020988x^3 + 2,30141 \cdot 10^{-17} x^4 \quad (3.8)$$

Сумма квадратов отклонений = 9,73162E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 6,59269E-0026 и 9,73162E-0027, подтверждающие, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Таблица 3.4

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий II типа ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_w, \text{ }^\circ\text{C}$		
	$\lambda_0 = 0,47 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda = 0,64 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 0,66 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$
0	16,7	15,6	15,4
6	9,951	7,88	7,336
12	7,172	4,406	4,264
18	5,187	2,476	1,96
24	4,393	0,932	0,424

Проведенные нами исследования (рис. 3.6) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для II типа здания (керамический пустотелый кирпич $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,35 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_3 = 0,54 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_3 = 1020 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 48,6%. Как показали исследования, полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,8%. Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 30% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из керамического пустотелого кирпича, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр

микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $2\div 3,5^{\circ}\text{C}$. Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для II типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $3,5^{\circ}\text{C}$, а в среднем – $2\div 3,5^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамического пустотелого кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

На начало эксплуатации:

$$y_5 = 17,5 - 1,816875x + 0,1476562x^2 - 0,0067187x^3 + 0,0001172x^4 \quad (3.9)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,51154E-0026

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_6 = 16,2 - 2,352x + 0,2014444x^2 - 0,0090741x^3 + 0,0001512x^4 \quad (3.10)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,53207E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,51154E-0026 и 1,53207E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 3.7) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для II типа здания (керамический пустотелый кирпич $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,47 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_9 = 0,66 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_9 = 1651 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в

сторону увеличения теплопроводности составили 36,2%. Как показали исследования, полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,1%. Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 24% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из керамического пустотелого кирпича, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $2\div 4^{\circ}\text{C}$.

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для II типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых 6 часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает 4°C , а в среднем – $2\div 4^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамического пустотелого кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

На начало эксплуатации:

$$y_7 = 15,6 - 1,8549444x + 0,1161574x^2 - 0,0038719x^3 + 0,0000496x^4 \quad (3.11)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,63883E-0026

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_8 = 15,4 - 2,1706667x + 0,1817778x^2 - 0,0081481x^3 + 0,0001358x^4 \quad (3.12)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,14268E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,63883E-0026 и 1,14268E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 3.8) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для III типа здания (тяжелый бетон $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной

эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 1,69 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_3 = 2,14 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, $\rho_3 = 2688 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 20,7%. Проведенные исследования показали, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 4,9%.

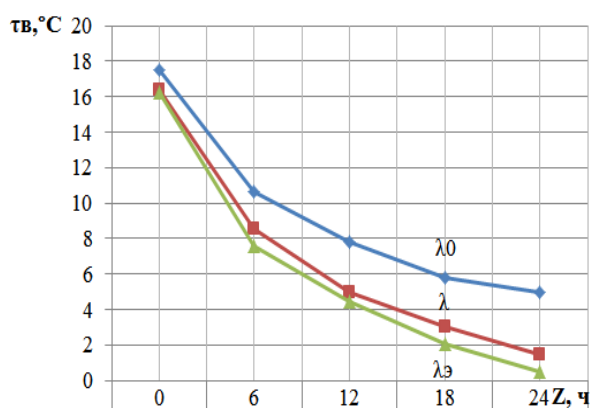


Рис. 3.6. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для II типа здания ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$)

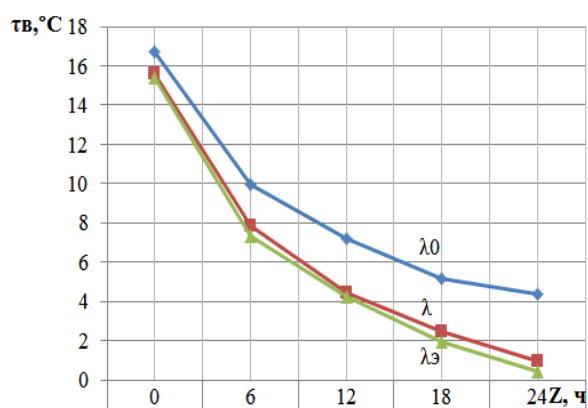


Рис. 3.7. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для II типа здания ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

λ_0 - при вводе в эксплуатацию; λ - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (теоретические значения); λ_3 - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (экспериментальные значения).

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 8,8% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций на основе тяжелого бетона, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $1 \div 1,7^\circ\text{С}$.

Таблица 3.5

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий III типа ($\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_{в}, ^\circ\text{C}$		
	$\lambda_o = 1,69 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	$\lambda = 2,04 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 2,14 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$
0	5,5	4,1	3,9
6	-7,895	-9,992	-10,63
12	-13,03	-15,14	-16,28
18	-16,73	-18,39	-19,5
24	-18,73	-20,02	-20,85

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для III типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $1,7^\circ\text{C}$, а в среднем – $1 \div 1,7^\circ\text{C}$. На основании обработки полученных данных нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки на основе тяжелого бетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

Таблица 3.6

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий IV типа ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_{в}, ^\circ\text{C}$		
	$\lambda_o = 0,35 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	$\lambda = 0,81 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$	$\lambda_3 = 0,83 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$
0	16,1	14,7	14,4
6	10,626	7,914	7,294
12	7,889	4,898	4,302
18	5,543	2,636	2,058
24	3,979	0,751	0,188

На начало эксплуатации:

$$y_9 = 5,5 - 3,598125x + 0,3005035x^2 - 0,0135243x^3 + 0,0002291x^4 \quad (3.13)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,43103E-0026

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{10} = 3,9 - 3,766x + 0,2883032x^2 - 0,011831x^3 + 0,0001903x^4 \quad (3.14)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,42032E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 2,43103E-0026 и 4,42032E-0026. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 3.9) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для IV типа здания (полнотелый глиняный обыкновенный кирпич $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_o = 0,56 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_э = 0,83 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, $\rho_э = 1865 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 44,6%. Исследования показали, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 2,5%.

Установлено, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 26% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из полнотелого глиняного обыкновенного кирпича, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $2 \div 3^\circ\text{С}$. Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для IV типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых 3 часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $3,2^\circ\text{С}$, а в среднем –

2÷3°C. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из полнотелого глиняного обыкновенного кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

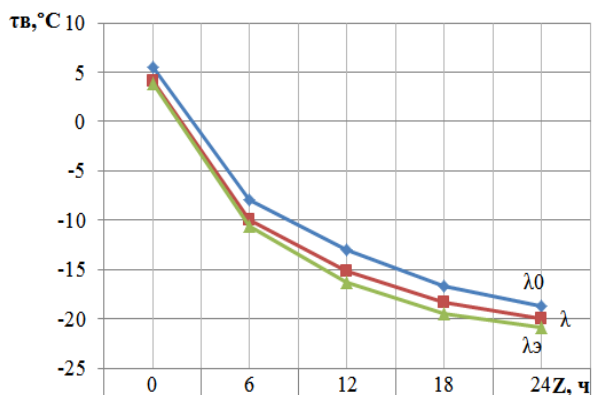


Рис. 3.8. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для III типа здания ($\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$)

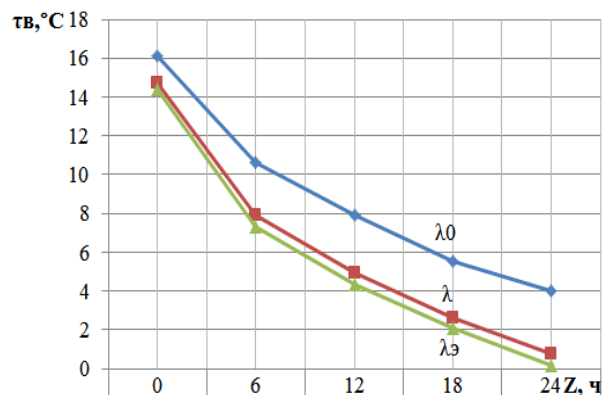


Рис.3.9. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для IV типа здания ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

λ_0 - при вводе в эксплуатацию; λ - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (теоретические значения); λ_3 - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (экспериментальные значения).

На начало эксплуатации:

$$y_{11} = 16,1 - 1,3847917x + 0,1054433x^2 - 0,004978x^3 + 0,000088x^4 \quad (3.15)$$

Сумма квадратов отклонений = 9,78661E-0027

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{12} = 14,4 - 1,8388333x + 0,1419815x^2 - 0,0060602x^3 + 0,0000962x^4 \quad (3.16)$$

Сумма квадратов отклонений = 9,05788E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 9,78661E-0027 и 9,05788E-0027, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо

описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Таблица 3.7

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий V типа ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$		
	$\lambda_o = 0,70 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda = 0,87 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda_s = 0,90 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$
0	15,5	14,4	14,2
6	8,955	7,668	6,76
12	6,26	5,05	4,156
18	3,565	2,432	1,552
24	2,025	0,562	-0,308

Проведенные нами исследования (рис. 3.10) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для V типа здания (силикатный кирпич на цементно-песчаном растворе $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_o = 0,70 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_s = 0,90 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$, $\rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 24,3%. Установлено, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,4%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 20% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на 2°C .

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для V типа зданий показали, что динамика охлаждения

внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $1,5^{\circ}\text{C}$, а в среднем – $1\div 2^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

Таблица 3.8

Изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий VI типа ($\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$)

Время охлаждения Z, ч	Температура внутренней поверхности стенки $\tau_{в}, ^{\circ}\text{C}$		
	$\lambda_o = 1,51 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda = 1,86 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\lambda_2 = 1,93 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$
0	6,3	4,6	4,3
6	0,147	-1,748	-2,252
12	-2,783	-4,784	-5,255
18	-5,127	-7,544	-7,985
24	-6,592	-8,924	-9,623

На начало эксплуатации:

$$y_{13} = 15,5 - 1,8340972x + 0,1706655x^2 - 0,0087635x^3 + 0,0001609x^4 \quad (3.17)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,61214E-0026

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{14} = 14,2 - 2,1441667x + 0,205375x^2 - 0,0101898x^3 + 0,0001794x^4 \quad (3.18)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,65696E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,61214E-0026 и 1,65696E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 3.11) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для VI типа здания (тяжелый бетон на гравии из природного камня $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$) показали,

что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 1,51 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, $\rho_0 = 2400 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_9 = 1,93 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$, $\rho_9 = 2573 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 23,2%. В результате проведенных исследований установлено, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,8%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 11% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $1 \div 2,5^\circ\text{С}$.

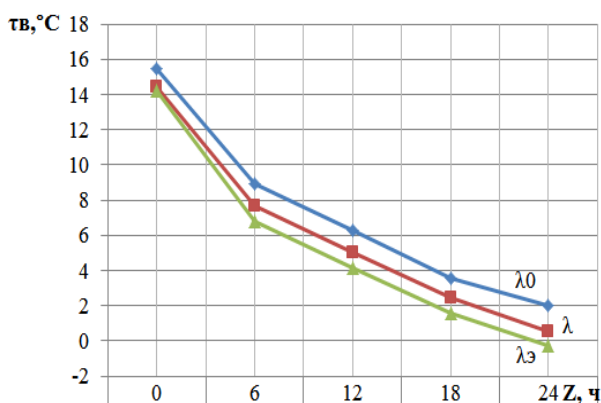


Рис. 3.10. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для V типа здания ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

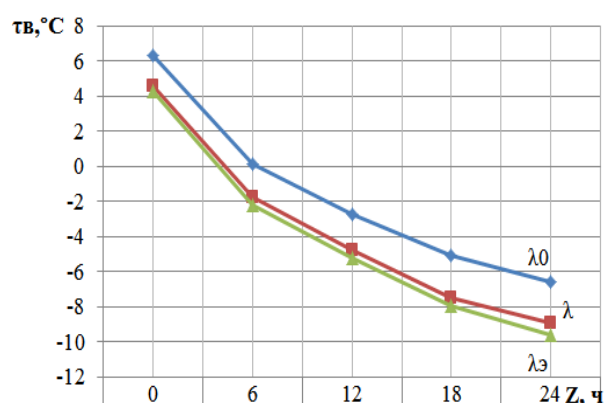


Рис. 3.11. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для VI типа здания ($\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

λ_0 - при вводе в эксплуатацию; λ - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (теоретические значения); λ_9 - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (экспериментальные значения).

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для VI типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $2,5^{\circ}\text{C}$, а в среднем – $1\div 2,5^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки на основе тяжелого бетона на гравии из природного камня, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения (приложение А).

На начало эксплуатации:

$$y_{15} = 6,3 - 1,5626667x + 0,1186921x^2 - 0,0054259x^3 + 0,0000942x^4 \quad (3.19)$$

Сумма квадратов отклонений = $3,14602\text{E}-0027$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{16} = 4,3 - 1,740375x + 0,1469271x^2 - 0,0072674x^3 + 0,0001317x^4 \quad (3.20)$$

Сумма квадратов отклонений = $3,56851\text{E}-0026$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $3,14602\text{E}-0027$ и $3,56851\text{E}-0026$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Анализ проведенных нами исследований показал, что: 1) в момент отключения системы теплоснабжения колебания температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции в зависимости от плотности для всех типов здания составляет $1\div 1,5^{\circ}\text{C}$; 2) с течением времени колебания температуры внутренней поверхности стенки в процессе длительной эксплуатации зданий увеличиваются с увеличением коэффициента теплопроводности, так для зданий из керамзитобетона, керамического пустотелого кирпича и глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе они составляют $3\div 5^{\circ}\text{C}$, для остальных – $1,3\div 2,5^{\circ}\text{C}$.

3.2. Исследование изменения температуры внутреннего воздуха и оценка времени охлаждения помещений из стационарного состояния

В отапливаемых зданиях и сооружениях для обеспечения заданных условий микроклимата согласно ДСН 3.3.6.042 – 99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» в холодный период года необходимо поддерживать нормируемую величину температуры внутреннего воздуха в рабочей зоне производственных помещений. Ожидаемую температуру внутреннего воздуха t_g , которая установится в помещении через время Z после нарушения нормального теплового режима, можно определить, используя зависимость [3, 123]:

$$t_g(z) = t_n + \Delta t_n + [t'_g - (t_n + \Delta t_n)]e^{-z/\beta}, \quad (3.21)$$

где t_n - температура наружного воздуха;

Δt_n - температурная надбавка, эквивалентная величине внутренних тепловыделений и избытка теплоты при отоплении Q_o ;

t'_g - температура внутреннего воздуха к моменту нарушения нормального теплового режима;

β - коэффициент аккумуляции тепловой энергии зданием.

В соответствии с [3, 10] коэффициент тепловой энергии здания определяется:

$$\beta = 0,278 \frac{C \cdot \rho}{\alpha_n \cdot \frac{F}{V}}, \quad (3.22)$$

где C - удельная теплоёмкость;

ρ - плотность материала ограждения;

α_n - коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности ограждения для зимнего периода;

F - площадь ограждения;

V - объем ограждения.

С учетом проведенных ранее нами исследований были определены коэффициенты аккумуляции тепла для рассматриваемых 6 вариантов зданий. При полном прекращении отопления и отсутствии внутренних тепловыделений, т.е.

при $Q_o = 0$, формула 3.21 принимает вид:

$$t_g(z) = t_n + (t'_g - t_n) e^{-z/\beta}, \quad (3.23)$$

Как было нами установлено при эксплуатации зданий изменяются теплотехнические свойства строительных материалов, в том числе и плотность материала строительных конструкций, из которого они выполнены. Соответственно, изменяется и коэффициент аккумуляции тепловой энергии, исходя из (3.22).

На рис. 3.12 приведены графики охлаждения помещений, полученные авторами [159] на основании расчётов, выполненных по представленным выше зависимостям 3.22 и 3.23 для зданий при различных β , ч.

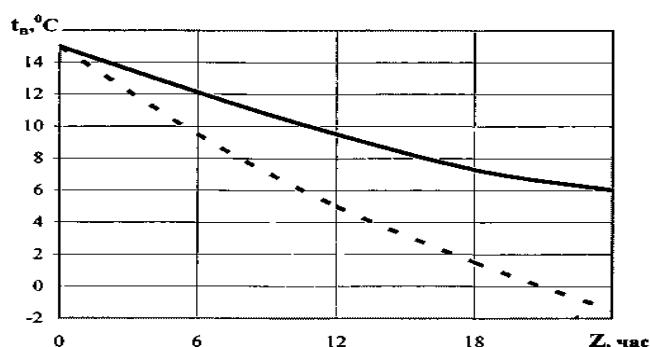


Рис. 3.12. Динамика охлаждения помещений при отключении системы отопления: — $\beta = 60$ ч; ---- $\beta = 30$ ч.

Результаты проведенных исследований изменения температуры внутреннего воздуха при охлаждении помещений из стационарного состояния для всех типов зданий при вводе в эксплуатацию и после длительной эксплуатации приведены в табл. 3.9 – 3.24.

На рис. 3.13 – 3.28 представлены результаты проведенных нами исследований зависимости изменения температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при отключении системы теплоснабжения для исследуемых нами 6 типов зданий при различных коэффициентах аккумуляции тепла β , ч.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6

«Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий. Для промышленных зданий и сооружений градиент температур находится в норме. Исследованиями установлено, что через 4,5 часа для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, а через 7,5 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3, 6, 10].

Таблица 3.9

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий I типа ($\rho = 800\text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 0,31\text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}; \rho = 800\text{ кг/м}^3; \beta = 24\text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутр. воздуха t_g , $^{\circ}\text{C}$	20	10,488	3,0808	-2,688	-7,181
Градиент температур $t_g - \tau_g$, $^{\circ}\text{C}$	3,5	5,8384	3,5658	1,3518	0,414

Согласно проведенных ранее исследований [3, 6, 123] при колебании температуры внутреннего воздуха помещений и температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций $t_g - \tau_g \leq 1,5 \div 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ вызывает дискомфортные теплоощущения человека. Это объясняется закономерностями физиологического колебания температуры тела, которое для здорового человека не превышает $0,3 \div 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{17} = 20 - 1,7907345x + 0,0369959x^2 - 0,0004782x^3 + 0,0000033x^4 \quad (3.23)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 1,66089\text{E-}0026$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{18} = 3,5 + 1,1772513x - 0,1728478x^2 + 0,0075985x^3 - 0,000111x^4 \quad (3.24)$$

Сумма квадратов отклонений = 6.69672E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,66089E-0026 и 6.69672E-0027 позволяют сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 5 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 8 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.10

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_a - \tau_a$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий I типа ($\rho_a = 864 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_a = 0,32 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_a = 864 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 26 \text{ ч}$				
	0	6	12	18	24
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутр. воздуха $t_a, \text{°C}$	20	11,139	4,1035	-1,482	-5,916
Градиент температур $t_a - \tau_a, \text{°C}$	3,8	7,0907	5,1515	2,7021	1,4037

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{19} = 20 - 1,6532023x + 0,0315768x^2 - 0,0003801x^3 + 0,0000025x^4 \quad (3.25)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,37329E-0026

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{20} = 3,8 + 1,3739089x - 0,1771269x^2 + 0,0071816x^3 - 0,0000983x^4 \quad (3.26)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,33869E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 4,37329E-0026 и 6,33869E-0027. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

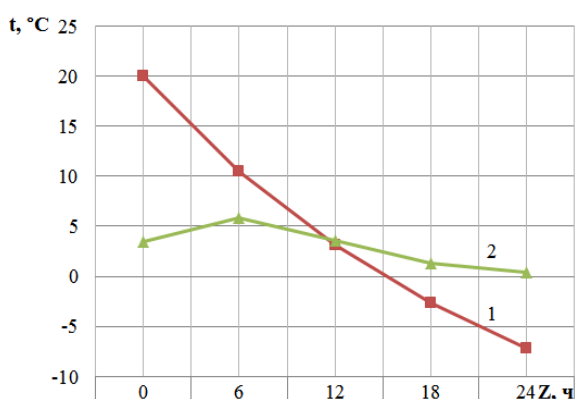


Рис. 3.13. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_{в} - \tau_{в}$) при охлаждении из стационарного состояния для I типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)

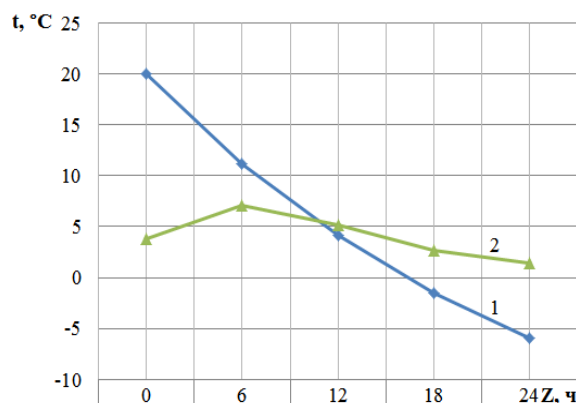


Рис. 3.14. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_{в} - \tau_{в}$) при охлаждении из стационарного состояния для I типа здания при длительной эксплуатации ($\rho = 864 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой

внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 9 часов температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 13 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.11

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий I типа ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 0,92 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}; \rho = 1800 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 54 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха $t_e, ^{\circ}\text{C}$	20	15,478	11,432	7,8108	4,5708
Градиент температур $t_e - \tau_e, ^{\circ}\text{C}$	8,7	15,154	16,596	16,405	15,909

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{21} = 20 - 0,7962757x + 0,0073659x^2 - 0,0000447x^3 + 1,68953E - 0007x^4 \quad (3.27)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 6,44357E-0026$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{22} = 8,7 + 1,7666965x - 0,1426965x^2 + 0,0049839x^3 - 0,000066x^4 \quad (3.28)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 2,55591E-0027$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $6,44357E-0026$ и $2,55591E-0027$. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика температуры внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеет идентичный характер. В тоже время, исследования показали,

что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 12 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 18 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.12

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий I типа ($\rho_g = 2124 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_g = 0,96 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_g = 2124 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 64 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха $t_g, \text{°C}$	20	16,152	12,648	9,4581	6,5534
Градиент температур $t_g - \tau_g, \text{°C}$	9	16,372	18,648	18,518	18,673

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{23} = 20 - 0,6718658x + 0,0052458x^2 - 0,000027x^3 + 1,885867E - 0008x^4 \quad (3.29)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 5,78156E-0027$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{24} = 9 + 1,8025787x - 0,1080875x^2 + 0,0020718x^3 - 8,85738E - 0008x^4 \quad (3.30)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 4,54763E-0025$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 5,78156E-0027 и 4,54763E-0025, позволяющие сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

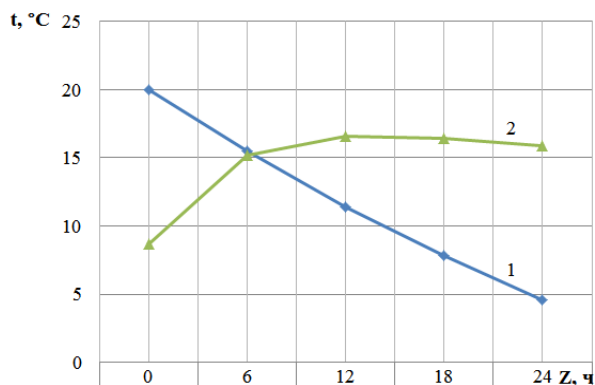


Рис. 3.15. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур $(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})$ при охлаждении из стационарного состояния для I типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

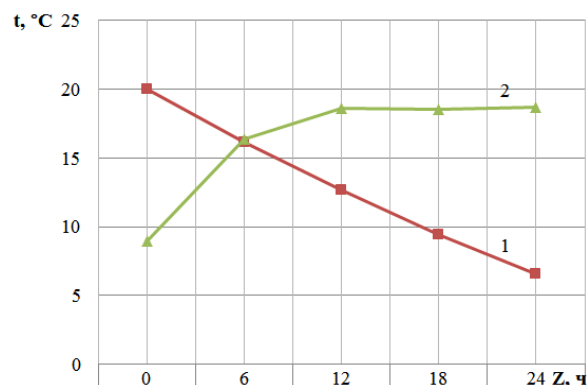


Рис. 3.16. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур $(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})$ при охлаждении из стационарного состояния для I типа здания при длит. эксплуатации ($\rho_{\text{с}} = 2124 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

Таблица 3.13

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур $(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})$ при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий II типа ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 0,52 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho = 1000 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 33 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха $t_{\text{в}}, \text{°C}$	20	12,851	6,8912	1,9219	-2,221
Градиент температур $t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}, \text{°C}$	3,6	4,3314	1,9172	-1,082	-3,649

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений.

Исследованиями установлено, что через 6 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 10 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.14

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий II типа ($\rho_g = 1020 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_g = 0,54 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}; \rho_g = 1020 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 34 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха t_g , $^{\circ}\text{C}$	20	13,044	7,2126	2,3249	-1,772
Градиент температур $t_g - \tau_g$, $^{\circ}\text{C}$	3,8	5,4676	2,7726	0,2369	-2,292

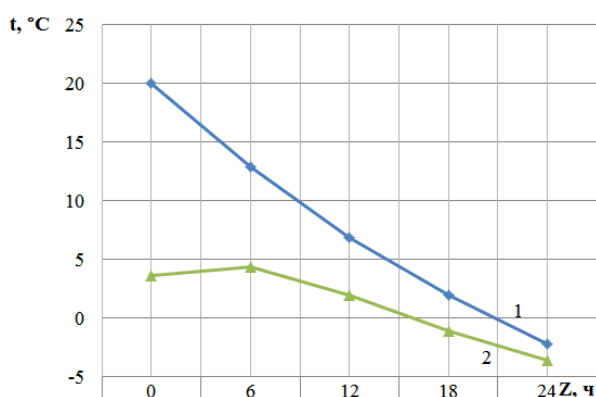


Рис. 3.17. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при охлаждении из стационарного состояния для II типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$)

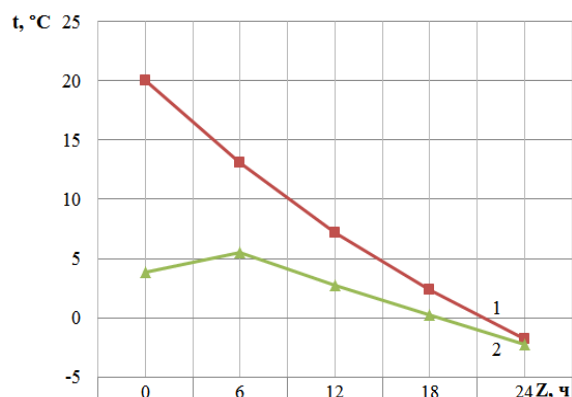


Рис. 3.18. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при охлаждении из стационарного состояния для II типа здания при длительной эксплуатации ($\rho_g = 1020 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{25} = 20 - 1,3028191x + 0,0196684x^2 - 0,0001905x^3 + 0,0000011x^4 \quad (3.31)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,93716E-0027

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{26} = 3,6 + 1,05905701x - 0,0988965x^2 + 0,0037617x^3 - 0,0000496x^4 \quad (3.32)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,08508E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 5,93716E-0027 и 2,08508E-0026, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 6 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 11 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{27} = 20 - 1,2645219x + 0,0185338x^2 - 0,0001746x^3 + 9,46881E - 0007x^4 \quad (3.33)$$

Сумма квадратов отклонений = 9,03034E-0027

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{28} = 3,8 + 1,0874778x - 0,1829105x^2 + 0,0088995x^3 - 0,0001503x^4 \quad (3.34)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,86498E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 9,03034E-0027 и 3,86498E-0027. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

Таблица 3.15

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий II типа ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 0,64 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho = 1600 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 53 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха t_e , °C	20	15,398	11,288	7,6177	4,3405
Градиент температур $t_e - \tau_e$, °C	4,4	7,5175	6,8816	5,1417	3,4085

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 9 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 16 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{29} = 20 - 0,8112989x + 0,0076463x^2 - 0,0000472x^3 + 1,81523E - 0007x^4 \quad (3.35)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,67467E-0026

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{30} = 4,4 + 1,0436458x - 0,1085112x^2 + 0,0038247x^3 - 0,0000495x^4 \quad (3.36)$$

Сумма квадратов отклонений = 8,44870E-0028

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,67467E-0026 и 8,44870E-0028. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

Таблица 3.16

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий II типа ($\rho_s = 1651 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_s = 0,66 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_s = 1651 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 55 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха t_e , °C	20	15,556	11,571	7,9981	4,7945
Градиент температур $t_e - \tau_e$, °C	4,6	8,2199	7,3071	6,0381	4,3705

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 9,5 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ

средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 18 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

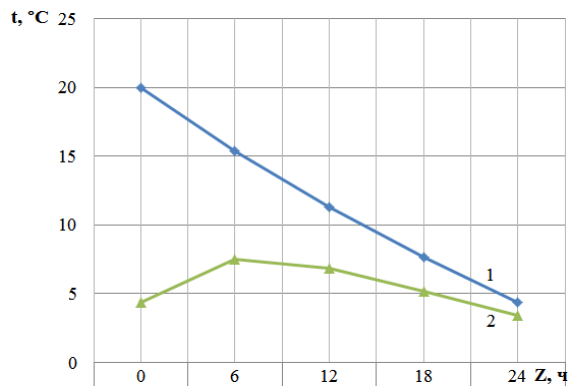


Рис. 3.19. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния для II типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$)

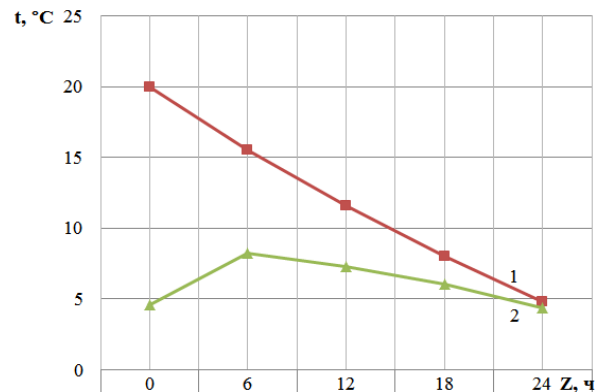


Рис. 3.20. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния для II типа здания при длительной эксплуатации ($\rho_э = 1651 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{31} = 20 - 0,7817996x + 0,007101x^2 - 0,0000423x^3 + 1,57732E - 0007x^4 \quad (3.37)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,80882E-0026

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{32} = 4,6 + 1,388867x - 0,1746768x^2 + 0,0081058x^3 - 0,0001356x^4 \quad (3.38)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,48740E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 2,80882E-0026 и 5,48740E-

0026, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

Таблица 3.17

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий III типа ($\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 2,04 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho = 2500 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 75 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха t_e , °C	20	16,694	13,642	10,825	8,2244
Градиент температур $t_e - \tau_e$, °C	15,9	26,686	28,783	29,218	28,243

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 12 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 20 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{33} = 20 - 0,5733292x + 0,0038208x^2 - 0,0000168x^3 + 4,83089E - 0008x^4 \quad (3.39)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 4,32075E-0026$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{34} = 15,9 + 6,49289E + 0006x - 1,89376E + 0006x^2 + 157813,11625x^3 - 3757,45505x^4 \quad (3.40)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,02917E-0011

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 4,32075E-0026 и 3,02917E-0011. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

Таблица 3.18

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий III типа ($\rho_g = 2688 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_g = 2,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_g = 2688 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 80 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутреннего воздуха $t_e, \text{°C}$	20	16,893	14,01	11,336	8,8552
Градиент температур $t_e - \tau_e, \text{°C}$	16,1	27,519	30,285	30,839	29,703

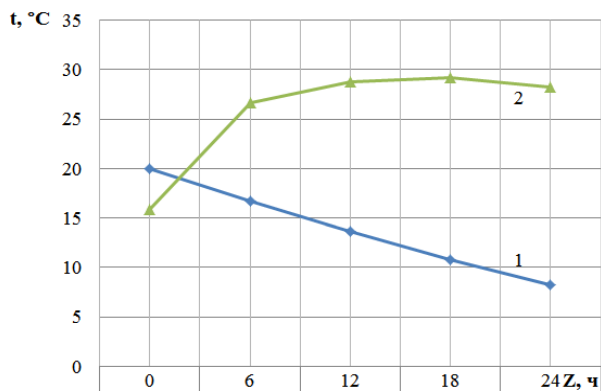


Рис. 3.21. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния для III типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$)

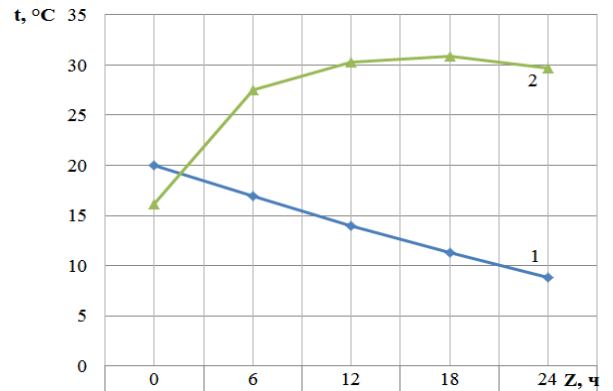


Рис. 3.22. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния для III типа здания при длительной эксплуатации ($\rho_g = 2688 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и

воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 12,5 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 22 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{35} = 20 - 0,537497x + 0,0033583x^2 - 0,0000139x^3 + 3,877283E - 0008x^4 \quad (3.41)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 3,56597E-0026$$

Таблица 3.19

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_g - \tau_g$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий IV типа ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 0,81 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}; \rho = 1800 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 60 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен.воздуха $t_g, ^{\circ}\text{C}$	20	15,908	12,205	8,8552	5,8238
Градиент температур $t_g - \tau_g, ^{\circ}\text{C}$	5,3	7,994	7,3074	6,2192	5,0728

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{36} = 16,1 + 3,228503x - 0,2849449x^2 + 0,0118171x^3 - 0,0001902x^4 \quad (3.42)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 3,16340E-0025$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 3,56597E-0026 и 3,16340E-0025, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

Таблица 3.20

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий IV типа ($\rho_{\text{в}} = 1865 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_{\text{в}} = 0,83 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_{\text{в}} = 1865 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 62 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха t_e , °C	20	16,034	12,433	9,165	6,1981
Градиент температур $t_e - \tau_e$, °C	5,6	8,7397	8,1313	7,107	6,0101

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 10,5 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 19 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{37} = 20 - 0,7166543x + 0,0059679x^2 - 0,0000327x^3 + 1,13297E - 0007x^4 \quad (3.43)$$

Сумма квадратов отклонений = 8,05025E-0026

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{38} = 5,3 + 1,0060261x - 0,1218804x^2 + 0,0053489x^3 - 0,0000847x^4 \quad (3.44)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,11726E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 8,05025E-0026 и 3,11726E-0026, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

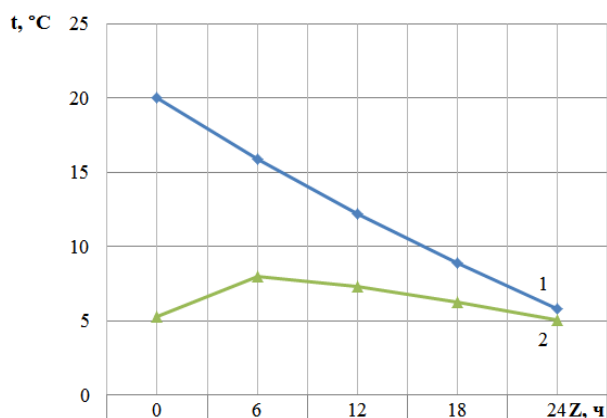


Рис. 3.23. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_{в} - \tau_{в}$) при охлаждении из стационарного состояния для IV типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

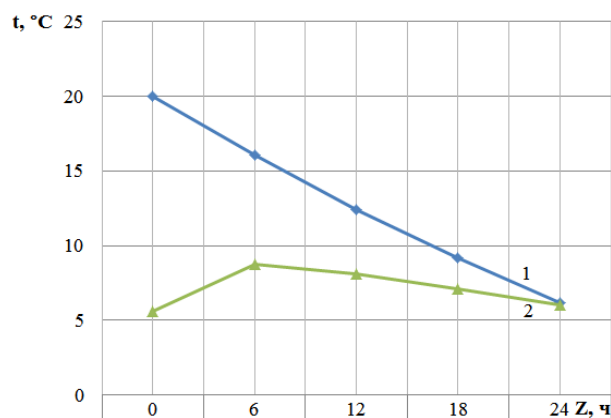


Рис. 3.24. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_{в} - \tau_{в}$) при охлаждении из стационарного состояния для IV типа здания при длительной эксплуатации ($\rho_{э} = 1865 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и

приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 11 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 20 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{39} = 20 - 0,693538x + 0,0055895x^2 - 0,0000296x^3 + 1,00076E - 0007x^4 \quad (3.45)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 3,48519\text{E}-0026$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{40} = 5,6 + 1,1452953x - 0,136392x^2 + 0,0060305x^3 - 0,0000961x^4 \quad (3.46)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 1,57188\text{E}-0026$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $3,48519\text{E}-0026$ и $1,57188\text{E}-0026$, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 11 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ

средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 18 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.21

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий V типа ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 0,87 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho = 1800 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 60 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха $t_e, \text{°C}$	20	15,908	12,205	8,8552	5,8238
Градиент температур $t_e - \tau_e, \text{°C}$	5,6	8,24	7,1554	6,4232	5,2618

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{41} = 20 - 0,7166543x + 0,0059679x^2 - 0,0000327x^3 + 1,13297E - 0007x^4 \quad (3.47)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 8,05025E-0026$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{42} = 5,6 + 1,1793177x - 0,1702103x^2 + 0,008769x^3 - 0,0001562x^4 \quad (3.48)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 2,24115E-0027$$

Таблица 3.22

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий V типа ($\rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_s = 0,90 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 64 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z, ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха $t_e, \text{°C}$	20	16,152	12,648	9,4581	6,5534
Градиент температур $t_e - \tau_e, \text{°C}$	5,8	9,3919	8,4923	7,9061	6,8614

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $8,05025E-0026$ и $2,24115E-0027$, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

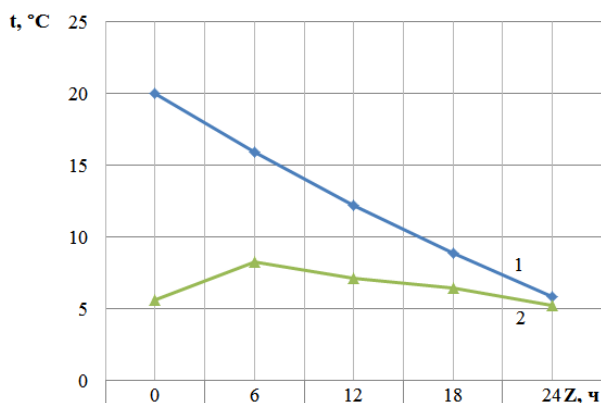


Рис. 3.25. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния для V типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

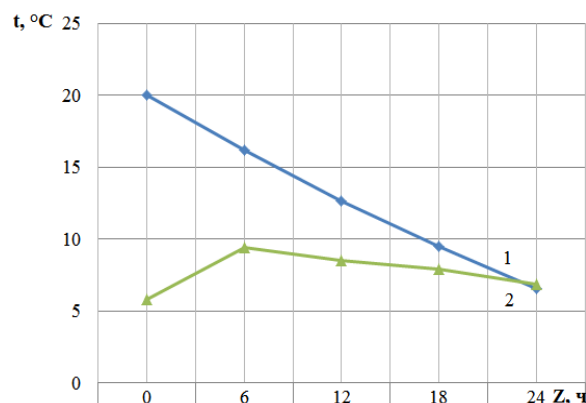


Рис. 3.26. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния для V типа здания при длительной эксплуатации ($\rho_9 = 1930 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 12 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ

средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 18 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.23

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий VI типа ($\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda = 1,86 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho = 2400 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 72 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен.воздуха t_e , °C	20	16,562	13,399	10,488	7,8108
Градиент температур $t_e - \tau_e$, °C	15,4	18,31	18,183	18,032	16,735

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{43} = 20 - 0,6718661x + 0,0052459x^2 - 0,000027x^3 + 8,86712E - 0008x^4 \quad (3.49)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 5,83442E-0027$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{44} = 5,8 + 1,4723006x - 0,2001291x^2 + 0,0101628x^3 - 0,0001793x^4 \quad (3.50)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 1,27362E-0026$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 5,83442E-0027 и 1,27362E-0026, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для

жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 13 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C, а через 20 часов достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

Таблица 3.24

Изменение температуры внутреннего воздуха и градиента температур ($t_e - \tau_e$) при охлаждении из стационарного состояния в зависимости от условий эксплуатации зданий VI типа ($\rho_3 = 2573 \text{ кг/м}^3$)

Теплотехнические характеристики здания	$\lambda_3 = 1,93 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}; \rho_3 = 2573 \text{ кг/м}^3;$ $\beta = 77 \text{ ч}$				
Время охлаждения Z , ч	0	6	12	18	24
Температура внутрен. воздуха t_e , °C	20	16,777	13,795	11,037	8,485
Градиент температур $t_e - \tau_e$, °C	15,7	19,029	19,05	19,022	18,108

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{45} = 20 - 0,7166543x + 0,0059679x^2 - 0,0000327x^3 + 1,13297E - 0007x^4 \quad (3.51)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 8,05025E-0026$$

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{46} = 15,4 + 1,0779497x - 0,1367294x^2 + 0,0071153x^3 - 0,000133x^4 \quad (3.52)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 4,63535E-0027$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 8,05025E-0026 и 4,63535E-0027, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

На основе проведенных исследований установлено, что динамика охлаждения внутреннего воздуха и градиент температур на поверхности ограждающей конструкции и воздуха помещения имеют идентичный характер. В тоже время, исследования показали, что в процессе охлаждения помещения имеет место не выполнение требований ДБН В.2.6-

31:2006 «Тепловая изоляция зданий» в части 2 п.2.6 «Допустимая по санитарно-гигиеническим требованиям разница между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции» для жилых и гражданских зданий, а также для промышленных зданий и сооружений. Исследованиями установлено, что через 14 часов для данного типа зданий температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C , а через 21,5 часа достигает значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6].

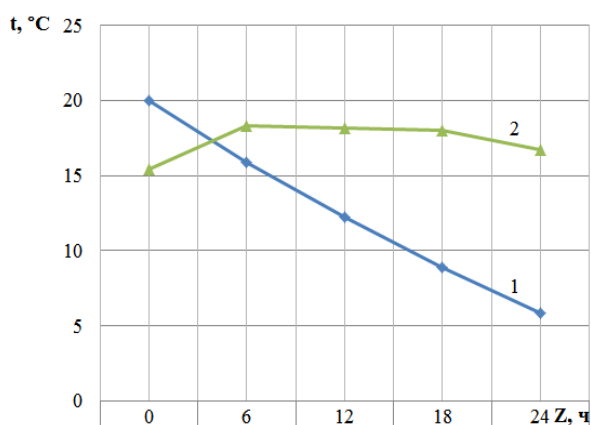


Рис. 3.27. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур $(t_{\theta} - \tau_{\theta})$ при охлаждении из стационарного состояния для VI типа здания при вводе в эксплуатацию ($\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$)

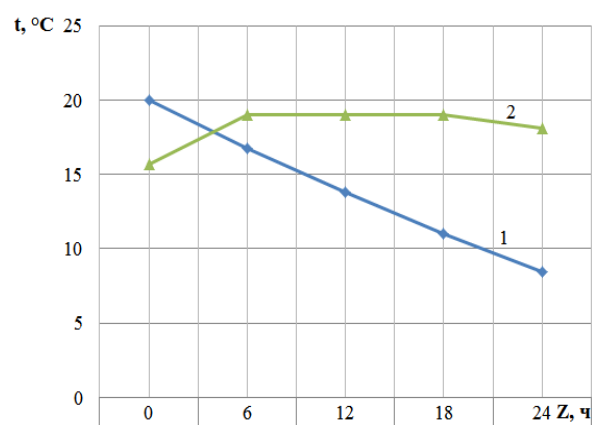


Рис. 3.28. Изменение температуры внутреннего воздуха помещения и градиента температур $(t_{\theta} - \tau_{\theta})$ при охлаждении из стационарного состояния для VI типа здания при длительной эксплуатации ($\rho_3 = 2573 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

1 – температура внутреннего воздуха; 2 – градиент температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей поверхности.

После обработки полученных нами данных с помощью пакета программ NUMERI (приложение Б) установлено ряд зависимостей.

Зависимость динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения при выходе из стационарного состояния:

$$y_{47} = 20 - 0,5584379x + 0,003625x^2 - 0,0000155x^3 + 4,36632E - 0008x^4 \quad (3.53)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,42930E-0026

Зависимость градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции при охлаждении из стационарного состояния:

$$y_{48} = 15,7 + 1,1819371x - 0,1433021x^2 + 0,0072518x^3 - 0,0001316x^4 \quad (3.54)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,51436E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 4,42930E-0026 и 1,51436E-0025, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений из стационарного состояния.

В дальнейшем после преобразования зависимости 3.23 нами была получена зависимость, которая является более универсальной:

$$Z = \ln \frac{t'_e - t_n}{t_e - t_n} \beta \quad (3.55)$$

Применение полученной нами зависимости даёт возможность при анализе аварийных ситуаций, устанавливать закономерности, которые позволяют прогнозировать время охлаждения помещений до критических значений температуры внутреннего воздуха с учетом категории выполняемых работ по тяжести и до критической температуры работы инженерных коммуникаций [3, 6, 10, 123], а также достижения критической температуры воды в инженерных коммуникациях с увеличением вязкости при 4°C, а в дальнейшем – закритическое значение 0°C и ниже практически для любого типа зданий по известным значениям коэффициентов аккумуляции тепла β при температуре наружного воздуха – холодной пятидневки (рис. 3.29) и всего отопительного периода (ноябрь – март) (рис. 3.30).

Проведенные нами исследования позволили получить зависимости времени остывания помещения Z до критических значений температуры внутреннего воздуха при использовании различных строительных материалов ограждающих конструкций от изменения коэффициента теплоаккумуляции β при температуре холодной пятидневки для г. Днепропетровска.

После обработки полученных нами результатов с помощью пакета

программ NUMERI (приложение В) установлено ряд зависимостей.

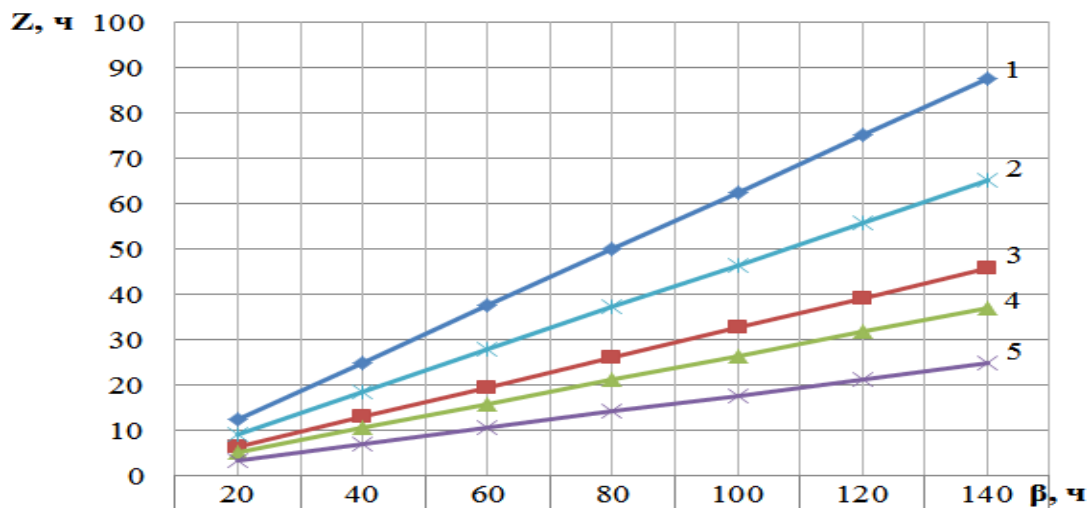


Рис. 3.29. Зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 0$ °C (1), $t_g = 4$ °C (2), $t_g = 8$ °C (3), $t_g = 10$ °C (4), $t_g = 13$ °C (5) при отключении системы теплоснабжения для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 0$ °C (1) при отключении системы теплоснабжения для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска:

$$y_{31} = -0,0000114 + 0,625716x - 8,8778E - 07x^2 + 1,33365E - 08x^3 - 5,32670E - 011x^4 \quad (3.56)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,60714E-0007

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 4$ °C (2) при отключении системы теплоснабжения для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска:

$$y_{32} = -0,0000777 + 0,465397x - 9,2069E - 07x^2 + 8,1992E - 09x^3 - 2,30824E - 011x^4 \quad (3.57)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,25547E-0007

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 8$ °C (3) при отключении системы теплоснабжения для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска:

$$y_{33} = -0,0000777 + 0,327247x - 9,2069E - 07x^2 + 8,1992E - 09x^3 - 2,30824E - 011x^4 \quad (3.58)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,25547E-0007

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 10$ °С (4) при отключении системы теплоснабжения для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска:

$$y_{34} = -0,0000549 + 0,264712x - 3,1179E - 07x^2 + 2,1307E - 010x^3 + 7,6941E - 012x^4 \quad (3.59)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 2,62819E-0007$$

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 13$ °С (5) при отключении системы теплоснабжения для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска:

$$y_{35} = -0,000053 + 0,1777071x - 1,10133E - 06x^2 + 1,34154E - 08x^3 - 4,9716E - 011x^4 \quad (3.60)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 2,75758E-0007$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,60714E-0007; 3,25547E-0007; 3,25547E-0007; 2,62819E-0007; 2,75758E-0007, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения до критических и закритических значений.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что понижение температуры внутреннего воздуха помещения зависит от его теплоаккумулирующей способности. Характер охлаждения помещений при выходе из стационарного режима для исследованных зданий является идентичным и подчиняется логарифмической зависимости. Время достижения нижнего предела допустимой температуры помещения для работ средней и тяжелой тяжести 13°С наступает при $\beta = 80$ ч через 14 часов, при $\beta = 55$ ч через 9,5 часов, при $\beta = 26$ ч через 5 часов. Достижение значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8 °С [3, 6] происходит при $\beta = 80$ ч через 26 часов, при $\beta = 55$ ч через 17 часов, при $\beta = 26$ ч через 8 часов. Значения закритической температуры внутреннего воздуха достигается при $\beta = 80$ ч через 50 часов, при $\beta = 55$ ч через 33 часа, при $\beta = 26$ ч через 18 часов.

В дальнейшем нами были проведены исследования по определению времени охлаждения внутреннего воздуха помещений при выходе из стационарного состояния для среднемесячных температур месяцев отопительного периода (ноябрь – март) (рис. 3.30).

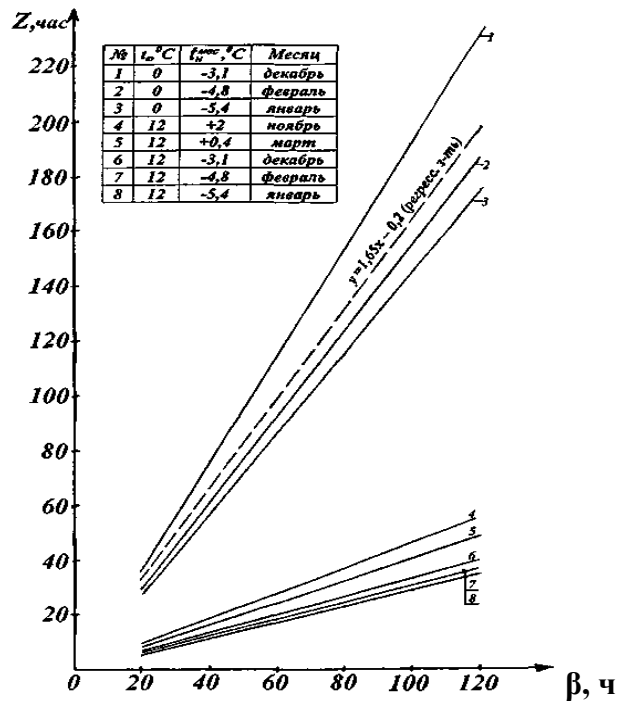


Рис. 3.30. Зависимости времени остывания помещения до $t_g = 0\text{ }^\circ\text{C}$ (1-3) и до $t_g = 13\text{ }^\circ\text{C}$ (4-8) при среднемесячных температурах месяцев отопительного периода для г. Днепропетровска

При этом нами были получены 2-е усреднено-регрессивные зависимости при $t_g = 0\text{ }^\circ\text{C}$ - для периода «декабрь-февраль», а также при $t_g = 13\text{ }^\circ\text{C}$ - для этого же периода. Причём, ординаты соответствующих точек в корреляционном поле являлись средним арифметическим по месяцам указанного периода (отдельно для $t_g = 0\text{ }^\circ\text{C}$ и для $t_g = 13\text{ }^\circ\text{C}$). Установлено, что при построении теоретической регрессивной зависимости по усреднённым точкам, оптимальной является такая функция, в которой соблюдаются условия наименьших квадратов: $\sum (y_i - \bar{y})^2 = \min$, где y_i - фактические ординаты поля; \bar{y} - среднее значение ординаты с абсциссой x [16].

При $t_g = 0\text{ }^\circ\text{C}$ уравнение регрессии для периода «декабрь-февраль» будет иметь вид:

$$Z = 1,65\beta - 0,2. \quad (3.61)$$

При $t_g = 13\text{ }^\circ\text{C}$ уравнение регрессии для этого же периода будет иметь вид:

$$Z = 0,85 + 0,3\beta. \quad (3.62)$$

Ограничивая регрессивное поле при $t_g = 0\text{ }^\circ\text{C}$ периферийными графиками 1

и 3 и регрессивное поле при $t_g = 13$ °С периферийными графиками 6 и 8 (рис. 3.30), были получены коэффициенты корреляции:

$$r = 0,95 \text{ (при } t_g = 0^\circ\text{C);} \quad (3.63)$$

$$r = 0,99 \text{ (при } t_g = 13^\circ\text{C).} \quad (3.64)$$

Высокие значения коэффициентов корреляции указывают на тесную связь времени охлаждения помещения Z от коэффициента теплоаккумуляции здания β .

3.3. Исследование динамики охлаждения помещений после отключения системы отопления для эталонного помещения

Понижение температуры внутреннего воздуха помещений зависит от их расположения в здании, согласно исследованиям [3, 13, 123] будет неодинаковой. Для помещений зданий массовой застройки превышение температуры на $1,5 \div 2$ °С нами рассматривались как переходные периоды и допустимые, не вызывающие дискомфорта для людей. При проведении исследований нами было сделано допущение – рассматривалось эталонное помещение: это угловое помещение, расположенное на среднем этаже здания, площадью $F_{nl} = 16$ м² и удельными теплопотерями $Q_{y\delta} = 40$ Вт/°С. Для данного типа помещений в соответствии с [3, 123] температура внутреннего воздуха в охлаждающемся помещении при отключении системы отопления может быть определена по формуле

$$t_g = \left[\left(k_t - \frac{1}{1 - \beta m} \right) \right] e^{-\frac{Z}{\beta} V_{01}} + \left(t_n + \frac{Q_{\text{быт}}}{Q_{y\delta}} \right), \quad (3.65)$$

где $V_{01} = t_{г.о.} - t_{н.у.}$;

$t_{н.у.}$ - условная температура наружного воздуха, °С;

$t_{г.о.}$ - температура внутреннего воздуха в момент отключения системы отопления, °С;

t_n - температура наружного воздуха, °С;

$t_{н.у.} = t_n + \frac{Q_{\text{быт}}}{Q_{y\delta}}$; $t_{г.о.} = t_g (Z = 0ч)$; $Q_{\text{быт}} = 21F_{nl}$;

F_{nl} - площадь пола помещения, м²;

$Q_{y\delta}$ - удельные теплотери, Вт/°С;

m - темп охлаждения нагревательных приборов, ч⁻¹;

β - коэффициент аккумуляции тепла, ч;

k_t - коэффициент для подсчёта теплоаккумуляции ограждающих конструкций помещения.

После преобразований время охлаждения эталонного помещения до заданной температуры внутреннего воздуха может быть определено по формуле

$$Z = \beta \left\{ \ln \left[k_t - \frac{1}{1 - \beta m} \right] + \ln \left(t_{e.o.} - t_n - \frac{Q_{\delta_{\text{вн}}}}{Q_{y\delta}} \right) - \ln(t_e - t_n - 8,4) \right\} \quad (3.66)$$

В результате проведенных нами исследований были построены графики (рис. 3.31 и рис. 3.32) зависимости температуры внутреннего воздуха t_e в охлаждающемся помещении с чугунным радиатором М-140 от времени Z при $t_n = -23$ °С (холодная пятидневка) и $t_n = -5,4$ °С (самый холодный месяц – январь). Трём расчётным случаям соответствовали следующие коэффициенты аккумуляции тепла: $\beta = 26, 55$ и 80 ч.

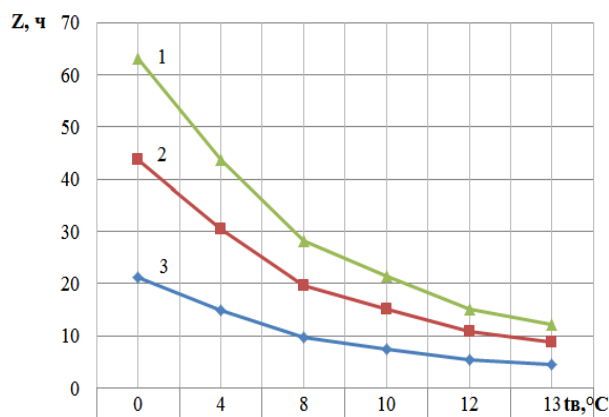


Рис. 3.31. Графики зависимости времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С (при $\beta = 80$ ч (1); $\beta = 55$ ч (2); $\beta = 26$ ч (3); $m = 1,3$ ч⁻¹) для $t_n = -23$ °С при отключении системы отопления

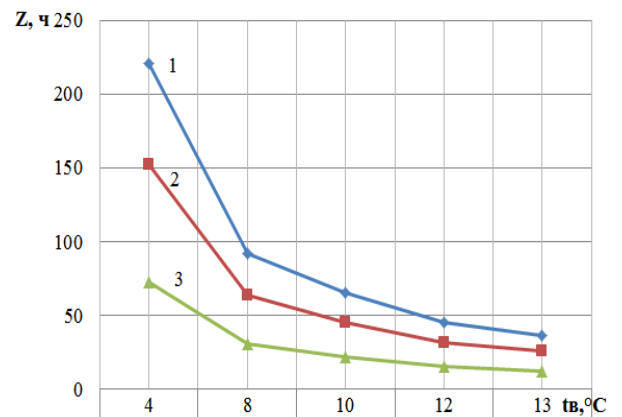


Рис. 3.32. Графики зависимости времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С (при $\beta = 80$ ч (1); $\beta = 55$ ч (2); $\beta = 26$ ч (3); $m = 1,3$ ч⁻¹) в январе месяце при отключении системы отопления

Проведенные нами исследования позволили получить зависимости времени охлаждения помещения Z от заданной температуры внутреннего воздуха t_e до критических значений температуры внутреннего воздуха при использовании различных строительных материалов ограждающих конструкций. Исследуемые шесть типов зданий имеют различные коэффициенты теплоаккумуляции β , учитывались также коэффициент для подсчёта теплоаккумуляции ограждающих конструкций помещения k_t , темп охлаждения нагревательных приборов системы отопления m , бытовые теплопоступления $Q_{\text{быт}}$ и удельные теплотери $Q_{\text{уд}}$ при температуре холодной пятидневки для г. Днепропетровска.

После обработки полученных нами результатов с помощью пакета программ NUMERI (приложение Г) установлено ряд зависимостей.

Зависимость времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С при $\beta = 80$ ч (1); $m = 1,3$ ч⁻¹ для температуры наружного воздуха $t_n = -23$ °С при отключении системы отопления:

$$y_{36} = 63,19586 - 4,0687254x - 0,4186352x^2 + 0,0649248x^3 - 0,0021615x^4 \quad (3.67)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 3,03110\text{E-}0023$$

Зависимость времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С при $\beta = 55$ ч (2); $m = 1,3$ ч⁻¹ для температуры наружного воздуха $t_n = -23$ °С при отключении системы отопления:

$$y_{37} = 43,71129 - 2,7988337x - 0,2871171x^2 + 0,0445489x^3 - 0,0014829x^4 \quad (3.68)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 8,98542\text{E-}0024$$

Зависимость времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С при $\beta = 26$ ч (3); $m = 1,3$ ч⁻¹ для температуры наружного воздуха $t_n = -23$ °С при отключении системы отопления:

$$y_{38} = 21,11336 - 1,3223307x - 0,136058x^2 + 0,0211007x^3 - 0,0007025x^4 \quad (3.69)$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 2,13204\text{E-}0024$$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 3,03110E-0023; 8,98542E-0024; 2,13204E-0024, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости

хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений от заданной температуры внутреннего воздуха с различными коэффициентами аккумуляции тепла при отключении системы теплоснабжения до критических и закритических значений.

На основе проведенных нами исследований установлено, что время охлаждения внутреннего воздуха при отключении системы теплоснабжения зависит от коэффициента аккумуляции тепла и от темпа охлаждения нагревательных приборов системы отопления здания. Исследованиями установлено, что температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°C при $\beta = 80$ ч через 12 часов, при $\beta = 55$ ч через 8,5 часа, при $\beta = 26$ ч через 4,5 часа. Достижение значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6] происходит при $\beta = 80$ ч через 28 часов, при $\beta = 55$ ч через 19 часов, при $\beta = 26$ ч через 10 часов. Значения закритической температуры внутреннего воздуха достигается при $\beta = 80$ ч через 63 часа, при $\beta = 55$ ч через 44 часа, при $\beta = 26$ ч через 21 час.

Проведенные нами исследования позволили получить зависимости времени охлаждения помещения Z от заданной температуры внутреннего воздуха t_a до критических значений температуры внутреннего воздуха при использовании различных строительных материалов ограждающих конструкций. Исследуемые шесть типов зданий имеют различные коэффициенты теплоаккумуляции β , учитывались также коэффициент для подсчета теплоаккумуляции ограждающих конструкций помещения k_t , темп охлаждения нагревательных приборов системы отопления m , бытовые теплопоступления $Q_{\text{быт}}$ и удельные теплопотери $Q_{\text{уд}}$ при температуре самого холодного месяца – января – для г. Днепропетровска.

После обработки полученных нами результатов с помощью пакета программ NUMERI (приложение Д) установлено ряд зависимостей.

Зависимость времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_a = 20^{\circ}\text{C}$ при $\beta = 80$ ч (1); $m = 1,3 \text{ ч}^{-1}$ для температуры наружного воздуха $t_n = -5,4^{\circ}\text{C}$ при отключении системы отопления:

$$y_{39} = 220,826353 - 52,8371339x + 6,1519338x^2 - 2,24746x^3 \quad (3.70)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,59008E-0025

Зависимость времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С при $\beta = 55$ ч (2); $m = 1,3$ ч⁻¹ для температуры наружного воздуха $t_n = -5,4$ °С при отключении системы отопления:

$$y_{40} = 152,082255 - 36,3255297x + 4,2294545x^2 - 0,1701287x^3 \quad (3.71)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,81193E-0025

Зависимость времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С при $\beta = 26$ ч (3); $m = 1,3$ ч⁻¹ для температуры наружного воздуха $t_n = -5,4$ °С при отключении системы отопления:

$$y_{41} = 72,3432683 - 17,1720686x + 1,9993785x^2 - 0,0804245x^3 \quad (3.72)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,58766E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 6,59008E-0025; 4,81193 E-0025; 5,58766E-0026, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений от заданной температуры внутреннего воздуха с различными коэффициентами аккумуляции тепла при отключении системы теплоснабжения до критических и закритических значений.

На основе проведенных нами исследований установлено, что время охлаждения внутреннего воздуха при отключении системы теплоснабжения зависит от коэффициента аккумуляции тепла и от темпа охлаждения нагревательных приборов системы отопления здания. Исследованиями установлено, что температура внутреннего воздуха достигает допустимого нижнего предела для категории работ средней и тяжелой тяжести 13°С при $\beta = 80$ ч через 36 часов, при $\beta = 55$ ч через 25 часов, при $\beta = 26$ ч через 12,5 часа. Достижение значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°С [3, 6] происходит при $\beta = 80$ ч через 92 часа, при $\beta = 55$ ч через 63,5 часа, при $\beta = 26$ ч через 30,5 часов. Значения закритической температуры внутреннего воздуха достигается при $\beta = 80$ ч через 220 часов, при $\beta = 55$ ч через 152 часа, при $\beta = 26$ ч через 72 часа.

В результате проведенных нами исследований были установлены зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха помещения Z до критических значений

температуры внутреннего воздуха с учетом теплоаккумуляции, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплопотерь при использовании различных строительных материалов ограждающих конструкций, имеющих различный коэффициент теплоаккумуляции β при температуре холодной пятидневки $t_n = -23$ °С для г. Днепропетровска (рис.3.33).

После обработки полученных нами результатов с помощью пакета программ NUMERI (приложение E) установлено ряд зависимостей.

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_e = 4$ °С (1) при отключении системы теплоснабжения для $t_n = -23$ °С:

$$y_{42} = 0,0223106 + 0,597769x - 0,0013716x^2 + 0,0000121x^3 - 3,65175E - 0008x^4 \quad (3.73)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0187767

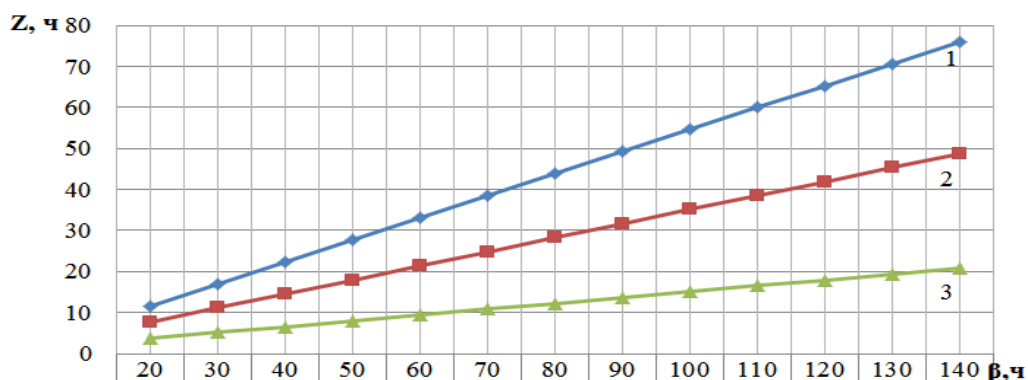


Рис. 3.33. Зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_e = 4$ °С (1), $t_e = 8$ °С (2), $t_e = 13$ °С (3) с учетом коэффициента теплоаккумуляции, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплопотерь при отключении системы теплоснабжения для $t_n = -23$ °С г. Днепропетровска

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_e = 8$ °С (2) при отключении системы теплоснабжения для $t_n = -23$ °С:

$$y_{43} = 0,0234091 + 0,4022495x - 0,0013487x^2 + 0,0000119x^3 - 3,57244E - 0008x^4 \quad (3.74)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0206688

Зависимость времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до

$t_e = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ (3) при отключении системы теплоснабжения для $t_n = -23 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$y_{44} = 0,0225379 + 0,2026568x - 0,0013557x^2 + 0,0000119x^3 - 3,58783E - 0008x^4 \quad (3.75)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0191732

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 0,0187767; 0,0206688; 0,0191732, что позволяет сделать вывод, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения до критических и закритических значений.

Анализируя проведенные исследования можно сделать вывод, что понижение температуры внутреннего воздуха помещения зависит от теплоаккумулирующей способности помещения и ограждающих конструкций, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплотерь. Характер охлаждения помещений при выходе из стационарного режима для исследованных зданий является идентичным и подчиняется логарифмической зависимости. Время достижения нижнего предела допустимой температуры помещения для работ средней и тяжелой тяжести 13°C наступает при $\beta = 80$ ч через 12 часов, при $\beta = 55$ ч через 8,5 часов, при $\beta = 26$ ч через 4,5 часа. Достижение значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C [3, 6] происходит при $\beta = 80$ ч через 28 часов, при $\beta = 55$ ч через 20 часов, при $\beta = 26$ ч через 9,5 часов. Значения закритической температуры внутреннего воздуха достигается при $\beta = 80$ ч через 44 часа, при $\beta = 55$ ч через 30 часа, при $\beta = 26$ ч через 14 часов.

3.4. Выводы по разделу 3.

1. Впервые проведены исследования теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций в процессе длительной эксплуатации (более 10 лет) для шести типов наиболее распространенных зданий в г. Днепропетровске с применением следующих материалов: керамзитобетон, керамический пустотелый кирпич, тяжелый бетон, полнотелый глиняный обыкновенный кирпич, силикатный кирпич, бетон на гравии из природного камня.

2. В результате проведенных исследований установлено, что в процессе

воздействия окружающей среды и климатических условий при длительной эксплуатации в строительных конструкциях вследствие структурных изменений (уплотнение, перестройка минералогического состава, карбонизации, миграции влаги и т.д.) происходят значительные изменения теплотехнических характеристик от первоначальных, что снижает их термическое сопротивление и существенно влияет на обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении.

3. На основании проведенных исследований установлено, что в процессе длительной эксплуатации строительных ограждающих конструкций возрастает динамика охлаждения температуры внутренней поверхности наружной стенки, градиент температуры увеличивается в среднем от 3°C до 5°C в зависимости от типа зданий. Установлены зависимости, которые позволяют прогнозировать изменения температуры внутренней поверхности стенки с учетом типа здания и применяемых строительных материалов ограждающих конструкций при отключении системы теплоснабжения, что позволяет управлять режимом теплоснабжения с учетом обеспечения необходимых параметров микроклимата, а также учитывать обеспечение комфортных условий с учетом перепада температур внутреннего воздуха помещений и внутренней поверхности ограждающей конструкции, влияние на теплоощущения человека, а также выход в закритическое состояние.

4. Проведенные исследования изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций расчетным и экспериментальным методами показали высокую их сходимость (погрешность не превышает 5%), что позволяет применять предложенный экспериментальный метод для экспресс оценки теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций.

5. На основе проведенных исследований установлена закономерность изменения температуры внутреннего воздуха и микроклимата помещений при охлаждении из стационарного режима при отключении системы теплоснабжения для шести типов эксплуатируемых зданий с учетом применяемых ограждающих конструкций.

6. Впервые установлена взаимосвязь динамики температуры внутреннего воздуха помещения на температурный градиент по отношению к температуре внутренней поверхности ограждающих конструкций, что позволяет управлять процессом поддержания параметров микроклимата до достижения критических температур

внутреннего воздуха помещений с учетом выполняемых работ по степени тяжести и критических значений температур для эксплуатации инженерных коммуникаций.

7. Впервые проведенные исследования позволили установить время достижения критических температур микроклимата и работы инженерных сетей для различных типов зданий при различных коэффициентах теплоаккумуляции при температурах наружного воздуха – холодной пятидневки и месяцев отопительного периода. Данные зависимости являются универсальными и позволяют управлять процессом обеспечения микроклимата помещений и безопасной эксплуатации инженерных коммуникаций.

РАЗДЕЛ 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПРИ АВАРИЙНО-ДЕФИЦИТНЫХ СИТУАЦИЯХ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ И ВЕТРА

4.1. Исследование динамики охлаждения внутренней поверхности ограждений после отключения системы отопления с учётом солнечной радиации и ветра

Как показал анализ работ [3, 6, 10, 18, 25, 29, 37, 40, 49] наряду с достижениями по применению энергосберегающих технологий в области теплоснабжения на сегодняшний день в Украине недостаточно внимания уделяется обеспечению нормальных условий микроклимата при нарушениях работы систем теплоснабжения, в том числе при аварийно-дефицитных ситуациях. Исследования показали, что остро проблема энергосбережения тепловой энергии в настоящее время стоит в жилищно-коммунальном секторе. Анализ показывает, что сейчас в Украине около 50% инженерных сетей требуют замены, не менее 55% находятся в аварийном состоянии. Для их ремонта необходимо около 34 млрд. \$. Городские теплосети Днепропетровска представляют собой сложную территориально разветвленную структуру, охватывающую восемь административных районов города. Естественно, что в таком крупномасштабном инженерном комплексе довольно часто возникают различные аварийные ситуации.

Использование энергии окружающей среды в зданиях необходимо рассматривать с общей структурой энергоснабжения в настоящее время и с теми способами поступления энергии, которые необходимо учитывать при оценке микроклимата. Кажущиеся неэкономичными сегодня способы поступления тепла из окружающей среды могут быть приемлемы в будущем. В связи с этим важно, чтобы потенциальные варианты возможного поступления тепла не отвергались на основе текущих оценок. Поэтому важным является продолжение исследований в данной области.

По оценке британских специалистов [4] 40-50% потребляемой в их стране энергии расходуется на теплообеспечение зданий. В ближайшие годы

предлагается существенное снижение потребления традиционных видов энергии путём применения энергосберегающих мероприятий и использования энергии окружающей среды. При оценке этих вариантов основным критерием является экономический показатель «затраты – эффективность» при сохранении необходимых условий.

Комфортные условия для микроклимата организма человека, которые должны приниматься во внимание при проектировании, складываются из двух элементов: внешних климатических условий и внутреннего микроклимата здания, определяемого характером деятельности людей. Взаимодействие между внешними климатическими условиями и микроклиматом помещения оказывают воздействие, главным образом, на ограждающих конструкциях, где происходит взаимодействие двух встречных энергетических потоков, поэтому очевидно, что именно здесь должен осуществляться контроль за энергетическими процессами при оценке и регулировании параметров микроклимата.

Для учёта энергии окружающей среды при проектировании зданий существует несколько способов. Во-первых, учёт положительных факторов энергии окружающей среды, когда требуется «собрать» и эффективно использовать её. Во-вторых, учёт отрицательных факторов энергии окружающей среды, когда требуется создать соответствующую защиту для людей от их чрезмерного влияния. В-третьих, способ сохранения энергии, когда необходимо свести до минимума её потребление в зданиях и, соответственно, потери в окружающую среду.

Солнечная радиация – единственный фактор окружающей среды, передающий энергию зданию, без помощи какого бы то ни было оборудования, который необходимо учитывать при обеспечении необходимых условий микроклимата. Поэтому решающим способом использования энергии солнца для отопления является проектирование и эксплуатация здания с учетом инсоляции, при этом здание должно выполнять роль естественного солнечного коллектора, по возможности без применения специальных технических средств. Для достижения этой цели необходимо, чтобы здание удовлетворяло трём основным требованиям.

1. Здание должно выполнять функции солнечного коллектора. Оно должно

пропускать солнечные лучи, когда требуется тепло, и препятствовать их проникновению, когда такой потребности нет. Это осуществляется, главным образом, путём ориентации и проектирования здания так, чтобы дать возможность лучам солнца проникать через ограждающие конструкции и окна зимой и не допускать этого летом, используя такие затеняющие средства, как деревья, навесы, жалюзи и многие другие способы.

2. Здание должно быть солнечным аккумулятором. Оно должно сохранять тепло, чтобы его можно было использовать в прохладное (и холодное) время, а также хранить прохладу во время тёплых (и жарких) периодов. Наиболее эффективные в этом отношении здания, построенные из тяжёлых материалов, таких, как кирпич и бетон.

3. Здание должно хорошо удерживать тепло, т.е. быть тепловой ловушкой. Оно должно эффективно использовать тепло и терять его очень медленно. Это осуществляется в основном путём снижения теплопотерь.

В [6, 7] показано, что на тепловой режим зданий влияет комплекс метеорологических факторов. В условиях Украины теплопотери зданий, полученные с учётом солнечной радиации и ветра, на 25% меньше теплопотерь, рассчитанных только по температуре наружного воздуха. В отдельные месяцы отопительного периода, особенно весной, это различие может достигать 65%.

Проведенные исследования показали, что в условиях Днепропетровска влияние солнечной радиации на тепловой режим зданий значительно превосходит влияние ветра. Годовая (помесячная) добавка тепла за счёт солнечной радиации составляет около 140 °С. Вследствие этого среднемесячная эффективная наружная температура $t_{n(эф)}^{мес}$ на протяжении почти всего года выше среднемесячной температуры наружного воздуха $t_n^{мес}$ (табл. 4.1) [7, 18, 19].

Причём

$$t_{n(эф)}^{мес} = t_n^{мес} + \Delta t_{рад}^{мес} - \Delta t_{ветр}^{мес}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.1)$$

где $\Delta t_{рад}^{мес}$ - среднемесячная добавка тепла за счёт солнечной радиации, °С;

$\Delta t_{ветр}^{мес}$ - среднемесячная потеря тепла от ветра, °С;

$t_{n(эф)}^{мес}$ - среднемесячная эффективная наружная температура, °С;

$\Delta t^{мес*}$ - дефицит тепла, °С;

$t_n^{мес}$ - среднемесячная температура отопительного периода, °С.

Таблица 4.1

**Средние температурные показатели для зданий в условиях
Днепропетровска с учётом солнечной радиации и ветра**

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Свободная разомкнутая застройка												
$t_{n(эф)}^{мес}$	-3	0	9	23	35	41	44	39	31	17	4	-2
$\Delta t_{рад}^{мес}$	4	7	10	14	19	21	22	18	15	8	3	3
$\Delta t_{ветр}^{мес}$	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
$\Delta t^{мес*}$	21	18	9	-5	-17	-23	-23	-21	-13	1	14	20
$t_n^{мес}$	-5,4	-4,8	0,4	9	16,4	19,8	22,3	21,3	15,7	8,8	2	-3,1
Плотная застройка												
$t_{n(эф)}^{мес}$	-5	-3	4	16	26	31	33	30	24	13	2	-4
$\Delta t_{рад}^{мес}$	2	4	5	7	10	11	11	9	8	4	1	1
$\Delta t_{ветр}^{мес}$	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
$\Delta t^{мес*}$	23	21	14	2	-8	-13	-15	-12	-6	5	16	22
$t_n^{мес}$	-5,4	-4,8	0,4	9	16,4	19,8	22,3	21,3	15,7	8,8	2	-3,1

* Дефицит тепла $\Delta t^{мес*} = t_e - t_{n(эф)}^{мес} (t_e = 20^\circ C)$

Учитывая особенности строительства зданий в г. Днепропетровске нами проведены исследования изменения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций для шести типов зданий с учётом воздействия на них солнечной радиации и ветра. Расчёты выполнялись для каждого из 5-ти месяцев отопительного периода в городе (табл. 4.1) по среднемесячным температурам наружного воздуха.

Учитывая необходимость управления процессом поддержания параметров микроклимата помещений, нами были проведены исследования влияния солнечной радиации и ветра в отопительный период для Днепропетровска.

В результате исследований была определена температура среды (наружного воздуха) [7, 159]:

- с учётом солнечной радиации:

$$t_c = t_n^{мес} + t_{рад}^{мес} \quad (4.2)$$

- с учётом солнечной радиации и ветра:

$$t_c = t_n^{мес} + t_{рад}^{мес} - t_{вентр}^{мес} \quad (4.3)$$

- без учёта солнечной радиации и ветра:

$$t_c = t_n^{мес} \quad (4.4)$$

Результаты исследований для III и IV типов зданий приведены в табл. 4.2.

На рис. 4.1 и 4.2 приведены зависимости изменения температур охлаждающихся внутренних поверхностей стенок при среднемесячных температурах месяцев отопительного периода для Днепропетровска с учетом солнечной радиации и ветра для III и IV типов зданий в течение 72 ч с момента отключения системы отопления.

В результате проведенных исследований полученных данных (табл. 4.2) нами были построены зависимости изменения температуры на внутренней поверхности наружной стены t_e в охлаждающемся помещении от времени Z (рис. 4.1 и рис. 4.2). Исследования показали, что для г. Днепропетровска значительное влияние на обеспечение микроклиматических условий помещения в отопительный период при отключении системы теплоснабжения оказывает солнечная радиация.

При этом разность температур внутренней поверхности ограждающих конструкций в ноябре через 24 часа для III типа здания составляет 1,5 °С, для IV типа здания – 1,1 °С, а через 72 часа для III типа здания – 2,4 °С, для IV типа здания – 1,9 °С. В марте эта разница составляет через 24 часа для III типа здания – 5 °С, для IV типа здания – 3,8 °С, а через 72 часа для III типа здания – 8 °С, для IV типа здания – 6,3 °С. В самом холодном месяце отопительного периода – январе – когда температура наружного воздуха отлична в среднем на 7 °С от других месяцев этого периода эта разница будет составлять через 24 часа для III типа здания – 2 °С, для IV типа здания – 1,5 °С, а через 72 часа для III типа здания – 3,2 °С, для IV типа здания – 2,5 °С.

Таблица 4.2

Зависимости температуры τ_e охлаждающейся стенки от времени Z для 5-ти месяцев отопительного периода (кирпич и железобетон)*

Матери	$t_{н}^{мес}$, °С	Температура стенки τ_e , °С после отключения системы отопления через время Z , час											
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кирпич	-5,4 январь	14,4	12,8	11,8	10,4	10	9,3	8,5	7,9	7,3	6,6	6,2	5,8
		14,1	12,2	11,2	9,6	9,2	8,4	7,5	6,9	6,2	5,4	4,9	4,5
		13,7	11,7	10,5	8,9	8,4	7,5	6,5	5,8	5,1	4,2	3,7	3,3
	-4,8 февраль	15,1	13,7	12,9	11,8	11,5	10,9	10,3	9,8	9,3	8,7	8,4	8,0
		14,7	13,2	12,3	11,0	10,7	10,0	9,3	8,7	8,2	7,5	7,1	6,8
		13,8	11,8	10,7	9,1	8,7	7,7	6,8	6,1	5,5	4,6	4,1	3,6
	0,4 март	16,6	16	15,6	15	14,9	14,6	14,3	14	13,8	13,5	13,4	13,2
		16,4	15,7	15,3	14,6	14,5	14,1	13,8	13,5	13,3	12,9	12,7	12,5
		14,7	13,3	12,4	11,2	10,8	10,1	9,4	8,8	8,3	7,6	7,3	6,9
	2,0 ноябрь	15,6	14,5	13,8	12,9	12,7	12,2	11,6	11,2	10,9	10,3	10	9,8
		15,4	14,2	13,5	12,5	12,3	11,7	11,1	10,7	10,3	9,7	9,5	9,2
		15	13,7	12,9	11,8	11,4	10,8	10,2	9,7	9,2	8,6	8,2	7,9
	-3,1 декабр	14,7	13,1	12,2	10,9	10,6	9,9	9,1	8,6	8	7,3	7	6,6
		14,3	12,6	11,6	10,2	9,8	8,9	8,2	7,5	7	6,1	5,7	5,3
		14,1	12,3	11,3	9,8	9,3	8,5	7,7	7	6,4	5,6	5,1	4,7
Железобетон	-5,4 январь	13,2	11,2	9,9	8,3	7,3	6,4	5,6	4,8	4	3,5	2,9	2,5
		12,7	10,5	9	7,3	6,2	5,2	4,3	3,5	2,6	2	1,3	0,9
		12,2	9,8	8,2	6,3	5,1	4	3	2,1	1,2	0,5	-0,3	-0,7
	-4,8 февраль	14,1	12,5	11,4	10,1	9,3	8,5	7,9	7,3	6,6	6,2	5,7	5,4
		13,6	11,8	10,5	9,1	8,2	7,3	6,6	5,9	5,2	4,7	4,2	3,8
		12,3	10	8,4	6,6	5,5	4,3	3,4	2,5	1,6	0,9	0,2	-0,3
	0,4 март	16,1	15,3	14,8	14,2	13,8	13,4	13,1	12,8	12,5	12,3	12	11,9
		15,9	15	14,4	13,7	13,3	12,8	12,5	12,2	11,8	11,6	11,3	11,1
		13,6	11,8	10,6	9,2	8,3	7,4	6,7	6	5,3	4,8	4,3	3,9
	2,0 ноябрь	14,8	13,5	12,5	11,5	10,9	10,2	9,7	9,2	8,6	8,3	7,9	7,6
		14,5	13,1	12,1	11	10,3	9,6	9	8,5	7,9	7,5	7,1	6,8
		14	12,4	11,3	10	9,2	8,4	7,8	7,1	6,5	6	5,5	5,2
	-3,1 декабр	13,5	11,7	10,4	9	8	7,1	6,4	5,7	5	4,4	3,9	3,5
		13	11	9,6	8	6,9	5,9	5,1	4,3	3,5	2,9	2,3	1,9
		12,7	10,6	9,1	7,5	6,4	5,3	4,5	3,7	2,8	2,2	1,5	1,1

*Примечание. Для каждого месяца: 1 строка - с учетом солнечной радиации;

2 строка - с учетом солнечной радиации и ветра;

3 строка - без учета солнечной радиации и ветра.

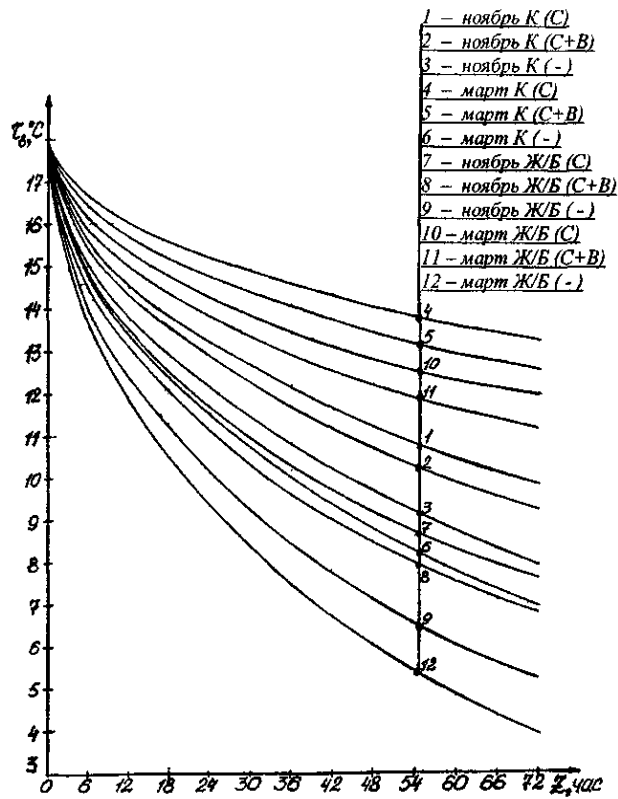


Рис. 4.1. Зависимости изменения температуры на внутренней поверхности наружной стены τ_w в охлаждающемся помещении от времени Z для ноября и марта месяцев

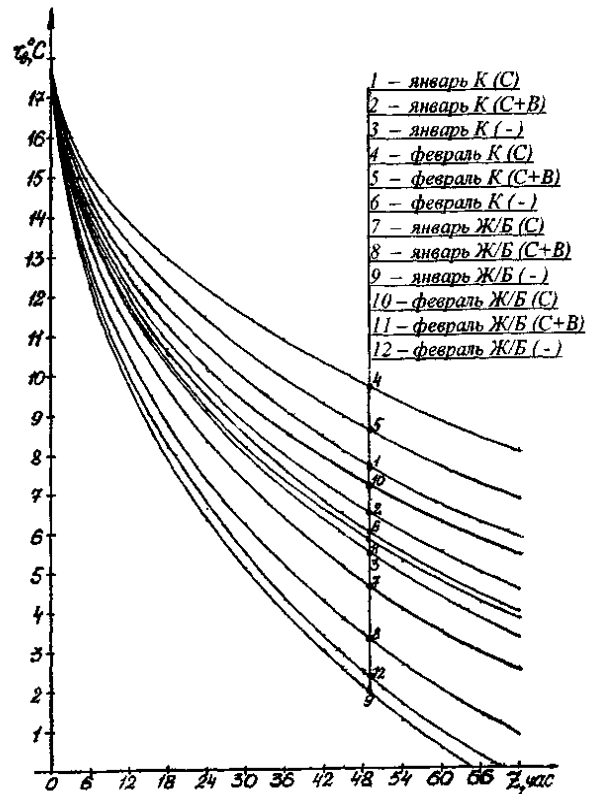


Рис. 4.2. Зависимости изменения температуры на внутренней поверхности наружной стены τ_w в охлаждающемся помещении от времени Z для января и февраля месяцев.

Условные обозначения:

К - кирпич; Ж/Б - железобетон; (С) - с учётом солнечной радиации; (С+В) – с учётом солнечной радиации и ветра; (-) - без учёта солнечной радиации и ветра

В дальнейшем нами были проведены исследования изменения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций рассматриваемых 6 типов зданий для пяти месяцев отопительного периода.

Результаты исследований приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Зависимости температуры τ_6 охлаждающейся стенки от времени Z для 5-ти месяцев отопительного периода 6 типов зданий*

Тип здания, материал ограждающей конструкции	$t_n^{мес}$, °C	Температура стенки τ_6 , °C после отключения системы отопления через время Z , час					
		0	6	12	18	24	
1	2	3	4	5	6	7	
I тип керамзитобетон $\rho_3 = 864 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	18,100	12,055	9,52	7,96	6,4	
		17,9	11,297	8,528	6,824	5,12	
		17,8	10,608	7,592	5,736	3,88	
	-4,8 февраль	18,4	13,378	11,272	9,976	8,68	
		18,2	12,62	10,28	8,84	7,4	
		17,9	10,863	7,912	6,096	4,28	
	0,4 март	19,1	16,403	15,272	14,576	13,88	
		19,0	16,024	14,776	14,008	13,24	
		18,3	12,751	10,424	8,992	7,56	
	2,0 ноябрь	18,7	14,453	12,672	11,576	10,48	
		18,6	14,074	12,176	11,008	9,84	
		18,4	13,316	11,184	9,872	8,56	
	-3,1 декабрь	18,3	12,596	10,204	8,732	7,26	
		18,1	11,838	9,212	7,596	5,98	
		18,0	11,459	8,716	7,028	5,34	
	I тип керамзитобетон $\rho_3 = 2124 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	15,4	9,856	7,0	5,488	3,976
			15,1	8,995	5,85	4,185	2,52
			14,7	8,067	4,65	2,841	1,032
-4,8 февраль		16,2	11,58	9,2	7,94	6,68	
		15,8	10,652	8,0	6,596	5,192	
		14,8	8,332	5,0	3,236	1,472	
0,4 март		18,0	15,492	14,2	13,516	12,832	
		17,8	15,028	13,6	12,844	12,088	
		15,9	10,785	8,15	6,755	5,36	
2,0 ноябрь		16,8	12,906	10,9	9,838	8,776	
		16,6	12,442	10,3	9,166	8,032	
		16,2	11,514	9,1	7,822	6,544	
-3,1 декабрь		15,8	10,553	7,85	6,419	4,988	
		15,4	9,625	6,65	5,075	3,5	
		15,2	9,161	6,05	4,403	2,756	

Продолжение табл. 4.3

Тип здания, материал ограждающей конструкции	$t_n^{мес}$, °C	Температура стенки τ_s , °C после отключения системы отопления через время Z , час					
		0	6	12	18	24	
1	2	3	4	5	6	7	
II тип керамический кирпич $\rho_s = 1020 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	18,1	13,81	12,25	11,08	10,3	
		17,9	13,214	11,51	10,232	9,38	
		17,8	12,696	10,84	9,448	8,52	
	-4,8 февраль	18,4	14,836	13,54	12,568	11,92	
		18,2	14,24	12,8	11,72	11,0	
		17,8	12,828	11,02	9,664	8,76	
	0,4 март	19,1	17,186	16,49	15,968	15,62	
		19,0	16,888	16,12	15,544	15,16	
		18,3	14,362	12,93	11,856	11,14	
	2,0 ноябрь	18,6	15,608	14,52	13,704	13,16	
		18,5	15,31	14,15	13,28	12,7	
		18,4	14,792	13,48	12,496	11,84	
	-3,1 декабрь	18,2	14,174	12,71	11,612	10,88	
		18,1	13,656	12,04	10,828	10,02	
		18,0	13,358	11,67	10,404	9,56	
	II тип керамический кирпич $\rho_s = 1651 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	17,7	13,689	12,161	11,015	10,251
			17,5	13,111	11,439	10,185	9,349
			17,3	12,533	10,717	9,355	8,447
-4,8 февраль		18,0	14,682	13,418	12,47	11,838	
		17,8	14,104	12,696	11,64	10,936	
		17,3	12,659	10,891	9,565	8,681	
0,4 март		18,9	17,115	16,435	15,925	15,585	
		18,7	16,747	16,003	15,445	15,073	
		17,8	14,146	12,754	11,71	11,014	
2,0 ноябрь		18,4	15,586	14,514	13,71	13,174	
		18,3	15,297	14,153	13,295	12,723	
		18,1	14,719	13,431	12,465	11,821	
-3,1 декабрь		17,9	14,12	12,68	11,6	10,88	
		17,7	13,542	11,958	10,77	9,978	
		17,6	13,253	11,597	10,355	9,527	

Продолжение табл. 4.3

Тип здания, материал ограждающей конструкции	$t_n^{мес}$, °C	Температура стенки τ_s , °C после отключения системы отопления через время Z , час				
		0	6	12	18	24
1	2	3	4	5	6	7
III тип железобетон $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	11,8	4,672	1,9	0,316	-0,344
		11,0	3,224	0,2	-1,528	-2,248
		10,3	1,822	-1,475	-3,359	-4,144
	-4,8 февраль	13,1	7,214	4,925	3,617	3,072
		12,4	5,812	3,25	1,786	1,176
		10,5	2,238	-0,975	-2,811	-3,576
	0,4 март	16,2	13,068	11,85	11,154	10,864
		15,8	12,344	111,0	10,232	9,912
		12,5	5,966	3,425	1,973	1,368
	2,0 ноябрь	14,2	9,232	7,3	6,196	5,736
		13,8	8,508	6,45	5,274	4,784
		13,1	7,106	4,775	3,443	2,888
	-3,1 декабрь	12,3	5,604	3,0	1,512	0,892
		11,5	4,156	1,3	-0,332	-1,012
		11,1	3,432	0,45	-1,254	-1,964
IV тип глиняный кирпич $\rho_s = 1865 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	17,3	13,747	12,251	11,129	10,194
		17,0	13,124	11,492	10,268	9,248
		16,8	12,582	10,806	9,474	8,364
	-4,8 февраль	17,7	14,755	13,515	12,585	11,81
		17,5	14,213	12,829	11,791	10,926
		16,8	12,696	10,968	9,672	8,592
	0,4 март	18,7	17,123	16,459	15,961	15,546
		18,6	16,852	16,116	15,564	15,104
		17,5	14,251	12,883	11,857	11,002
	2,0 ноябрь	18,0	15,53	14,49	13,71	13,06
		17,9	15,259	14,147	13,313	12,618
		17,7	14,717	13,461	12,519	11,734
	-3,1 декабрь	17,5	14,156	12,748	11,692	10,812
		17,2	13,533	11,989	10,831	9,866
		17,1	13,262	11,646	10,434	9,424

Продолжение табл. 4.3

Тип здания, материал ограждающей конструкции	$t_n^{мес}$, °C	Температура стенки τ_s , °C после отключения системы отопления через время Z , час				
		0	6	12	18	24
1	2	3	4	5	6	7
V тип силикатный кирпич $\rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	17,1	13,4	12,105	10,81	9,885
		16,8	12,76	11,346	9,932	8,922
		16,6	12,2	10,66	9,12	8,02
	-4,8 февраль	17,6	14,52	13,442	12,364	11,594
		17,3	13,88	12,683	11,486	10,631
		16,7	12,4	10,895	9,39	8,315
	0,4 март	18,7	17,04	16,459	15,878	15,463
		18,6	16,76	16,116	15,472	15,012
		17,3	13,92	12,737	11,554	10,709
	2,0 ноябрь	17,9	15,32	14,417	13,514	12,869
		17,8	15,04	14,074	13,108	12,418
		17,5	14,4	13,315	12,23	11,455
	-3,1 декабрь	17,3	13,82	12,602	11,384	10,514
		17,0	13,18	11,843	10,506	9,551
		16,9	12,9	11,5	10,1	9,1
VI тип бетон на гравии $\rho_s = 2573 \text{ кг/м}^3$	-5,4 январь	12,1	8,86	7,375	6,025	5,215
		11,4	7,848	6,22	4,74	3,852
		10,7	6,836	5,065	3,455	2,489
	-4,8 февраль	13,4	10,712	9,48	8,36	7,688
		12,7	9,7	8,325	7,075	6,325
		10,9	7,132	5,405	3,835	2,893
	0,4 март	16,4	14,96	14,3	13,7	13,34
		15,9	14,34	13,625	12,975	12,585
		12,8	9,824	8,46	7,22	6,476
	2,0 ноябрь	14,5	12,22	11,175	10,225	9,655
		14,1	11,676	10,565	9,555	8,949
		13,4	10,664	9,41	8,27	7,586
	-3,1 декабрь	12,6	9,552	8,155	6,885	6,123
		11,9	8,54	7,0	5,6	4,76
		11,5	7,996	6,39	4,93	4,054

*Примечание. Для каждого месяца:

1 строка - с учетом солнечной радиации;

2 строка - с учетом солнечной радиации и ветра;

3 строка - без учета солнечной радиации и ветра.

На рис. 4.3 – 4.10 представлены зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стенки 6 типов зданий в начале (ноябрь), середине (январь) и окончании (март) отопительного периода для Днепропетровска.

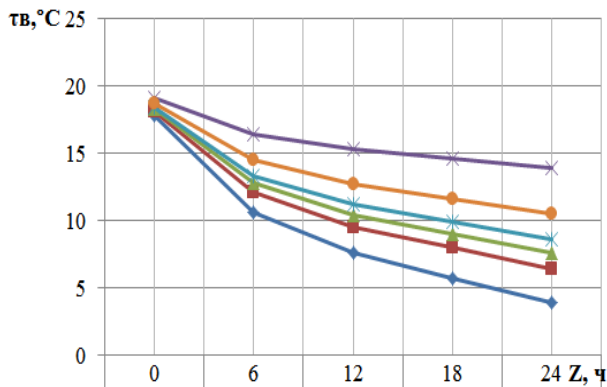


Рис. 4.3. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающемся помещении I типа зданий $\rho_s = 864 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

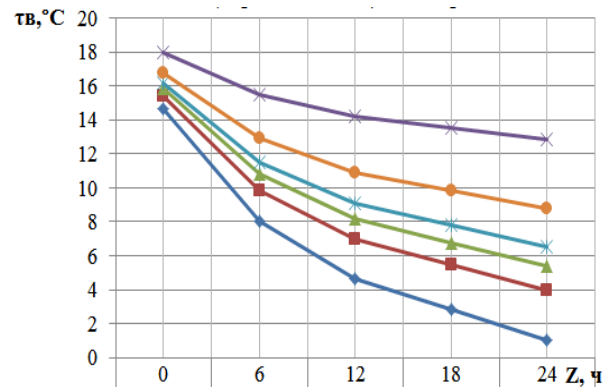


Рис. 4.4. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающемся помещении I типа зданий $\rho_s = 2124 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

Условные обозначения:

для ноября (— с учётом солнечной радиации; — без учёта солнечной радиации и ветра); для января (— с учётом солнечной радиации; — без учёта солнечной радиации и ветра); для марта (— с учётом солнечной радиации; — без учёта солнечной радиации и ветра).

Проведенные нами исследования для I типа зданий (керамзитобетон $\rho_s = 864 \text{ кг/м}^3$) показали, что добавочная энергия от Солнца позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 16%; в январе (середина отопительного периода) на 15%; в марте (окончание отопительного периода) на 51%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 5 часов и 18 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного

периода, но все же под воздействием солнечной радиации срок эксплуатационных свойств здания увеличивается на 3,5 ч.

В результате проведенных исследований [6, 159] установлено, что аккумуляция солнечной энергии определяется ориентацией по сторонам света здания и помещений в отдельности. Это позволило нам в результате исследований в дальнейшем установить, что ограждающие конструкции, сориентированные на север, получают от 3 °С до 7 °С меньше теплоступлений от солнечной радиации, чем сориентированные на юг.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_1 = 18,7 - 1,0579444x + 0,0729398x^2 - 0,0026427x^3 + 0,0000352x^4 \quad (4.5)$$

Сумма квадратов отклонений = 8,44554E-0026

Для января месяца отопительного периода:

$$y_2 = 18,1 - 1,5058333x + 0,1038194x^2 - 0,0037616x^3 + 0,0000502x^4 \quad (4.6)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,03431E-0026

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_3 = 19,1 - 0,6718333x + 0,0463194x^2 - 0,0016782x^3 + 0,0000224x^4 \quad (4.7)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,11785E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 8,44554E-0026; 4,03431E-0026 и 1,11785E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для I типа зданий (керамзитобетон $\rho_s = 2124 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику

охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 13%; в январе (середина отопительного периода) на 10%; в марте (окончание отопительного периода) на 65%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 3 часа и 14 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного периода, но все же под воздействием солнечной радиации срок эксплуатационных свойств здания увеличивается на 1,5 ч.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_4 = 16,8 - 0,8587778x + 0,0393333x^2 - 0,0007284x^3 + 2,77753E - 0017x^4 \quad (4.8)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,07127E-0026

Для января месяца отопительного периода:

$$y_5 = 15,4 - 1,2226667x + 0,056x^2 - 0,001037x^3 + 5,94493E - 0017x^4 \quad (4.9)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,97043E-0026

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_6 = 18 - 0,5531111x + 0,0253333x^2 - 0,0004691x^3 + 6,42911E - 0017x^4 \quad (4.10)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,73214E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,07127E-0026; 5,97043E-0026 и 6,73214E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для II типа зданий (керамический кирпич $\rho_{\text{с}} = 1020 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её

накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 10%; в январе (середина отопительного периода) на 20%; в марте (окончание отопительного периода) на 70%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 12 часов и 18 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного периода, но все же под воздействием солнечной радиации срок эксплуатационных свойств здания увеличивается на 6 ч.

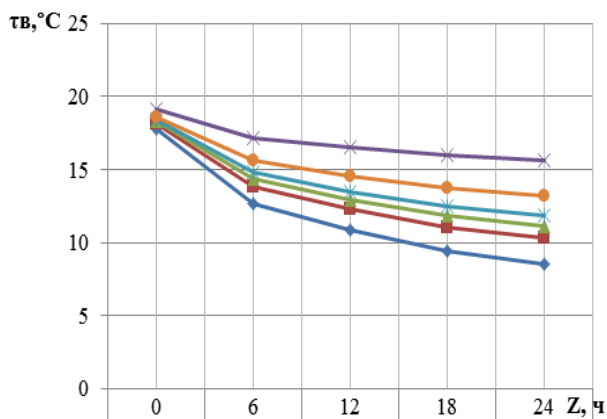


Рис. 4.5. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_6 в охлаждающемся помещении II типа зданий $\rho_3 = 1020 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

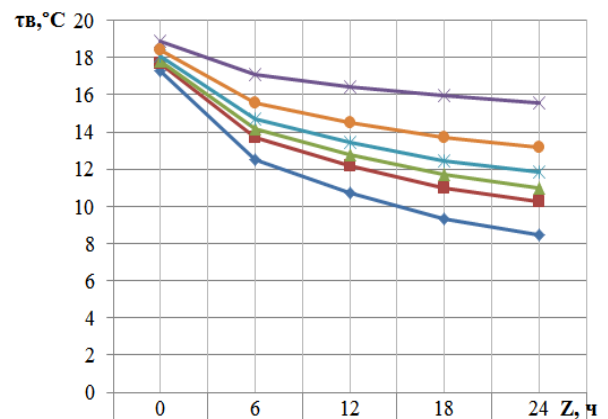


Рис. 4.6. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_6 в охлаждающемся помещении II типа зданий $\rho_3 = 1651 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

Условные обозначения:

для ноября (—●— с учётом солнечной радиации; —*— без учёта солнечной радиации и ветра); для января (—■— с учётом солнечной радиации; —◆— без учёта солнечной радиации и ветра); для марта (—×— с учётом солнечной радиации; —▲— без учёта солнечной радиации и ветра).

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения

внутренней поверхности стенки из керамического кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_7 = 18,6 - 0,816x + 0,0698889x^2 - 0,0031481x^3 + 0,0000525x^4 \quad (4.11)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,45936E-0025

Для января месяца отопительного периода:

$$y_8 = 18,1 - 1,17x + 0,1002083x^2 - 0,0045139x^3 + 0,0000752x^4 \quad (4.12)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,04679E-0025

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_9 = 19,1 - 0,522x + 0,0447083x^2 - 0,00201391x^3 + 0,0000336x^4 \quad (4.13)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,76038E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,45936E-0025; 1,04679E-0025 и 2,76038E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для II типа зданий (керамический кирпич $\rho_s = 1652 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплопоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 11%; в январе (середина отопительного периода) на 19%; в марте (окончание отопительного периода) на 63%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 12 часов и 20 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного периода, но все же под воздействием солнечной радиации срок эксплуатационных свойств здания увеличивается на 4 ч.

На основании обработки полученных данных были получены закономерности

интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамического кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_{10} = 18,4 - 0,7574722x + 0,0634329x^2 - 0,0028434x^3 + 0,0000474x^4 \quad (4.14)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,45044E-0026

Для января месяца отопительного периода:

$$y_{11} = 17,7 - 1,0796806x + 0,0904155x^2 - 0,0040529x^3 + 0,0000675x^4 \quad (4.15)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,60770E-0026

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_{12} = 18,9 - 0,4804861x + 0,0402373x^2 - 0,0018036x^3 + 0,0000301x^4 \quad (4.16)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,25269E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 4,45044E-0026; 1,60770E-0026 и 4,25269E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для III типа зданий (железобетон $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 8%; в январе (середина отопительного периода) влияние не существенно; в марте (окончание отопительного периода) на 70%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно и снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 3 часа, 0 часов и 6 часов. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 3 часа и 6 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в

начале и конце отопительного периода, поэтому срок эксплуатационных свойств здания принципиально не увеличивается.

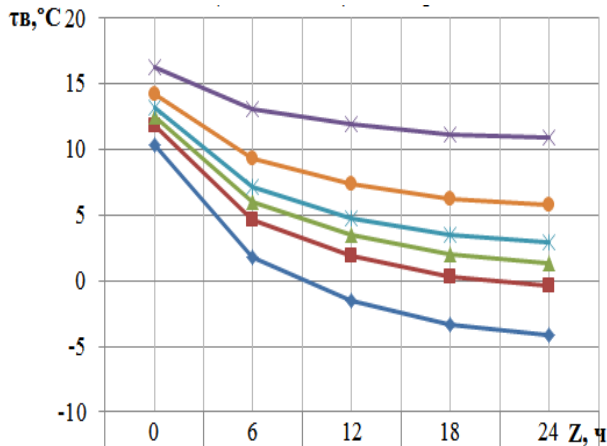


Рис. 4.7. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающемся помещении III типа зданий $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

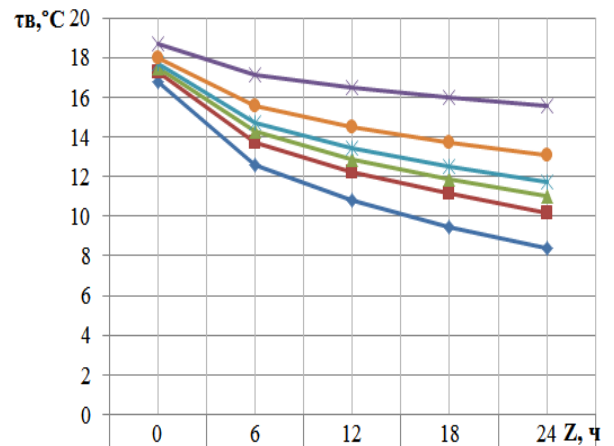


Рис. 4.8. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающемся помещении IV типа зданий $\rho_s = 1865 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

Условные обозначения:

для ноября (—●— с учётом солнечной радиации; —*— без учёта солнечной радиации и ветра); для января (—■— с учётом солнечной радиации; —◆— без учёта солнечной радиации и ветра); для марта (—×— с учётом солнечной радиации; —▲— без учёта солнечной радиации и ветра).

На основании обработки полученных данных были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из железобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_{13} = 14,2 - 1,288x + 0,0986019x^2 - 0,0040463x^3 + 0,0000651x^4 \quad (4.17)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,36836E-0026

Для января месяца отопительного периода:

$$y_{14} = 11,8 - 1,848x + 0,1414722x^2 - 0,0058056x^3 + 0,0000934x^4 \quad (4.18)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,70762E-0026

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_{15} = 16,2 - 0,812x + 0,062162x^2 - 0,0025509x^3 + 0,000041x^4 \quad (4.19)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,25271E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,36836E-0026; 1,70762E-0026 и 1,25271E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для IV типа зданий (глиняный кирпич $\rho_{\text{с}} = 1865 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 11%; в январе (середина отопительного периода) на 25%; в марте (окончание отопительного периода) на 70%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 12 часов и 20 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного периода, но все же под воздействием солнечной радиации срок эксплуатационных свойств здания увеличивается на 6 ч.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из глиняного кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_{16} = 18,0 - 0,6391667x + 0,0493519x^2 - 0,0021065x^3 + 0,0000334x^4 \quad (4.20)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,12249E-0025

Для января месяца отопительного периода:

$$y_{17} = 17,3 - 0,9194167x + 0,0709907x^2 - 0,0030301x^3 + 0,0000481x^4 \quad (4.21)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,06525E-0025

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_{18} = 18,7 - 0,4080833x + 0,0315093x^2 - 0,0013449x^3 + 0,0000213x^4 \quad (4.22)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,61874E-0027

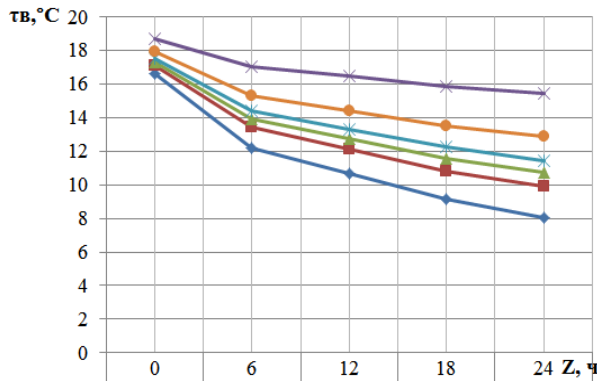


Рис. 4.9. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающемся помещении V типа зданий $\rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

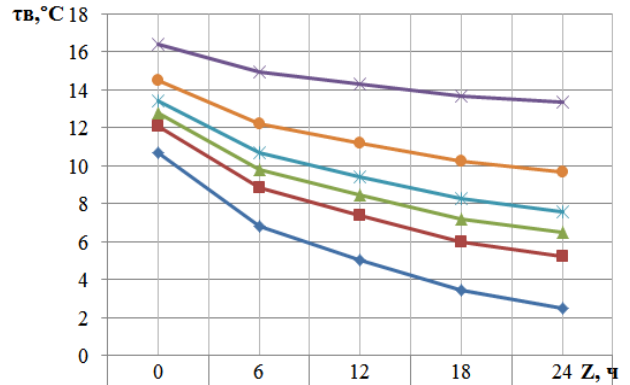


Рис. 4.10. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающемся помещении VI типа зданий $\rho_s = 2573 \text{ кг/м}^3$ от времени Z

Условные обозначения:

для ноября (— с учётом солнечной радиации; — без учёта солнечной радиации и ветра); для января (— с учётом солнечной радиации; — без учёта солнечной радиации и ветра); для марта (— с учётом солнечной радиации; — без учёта солнечной радиации и ветра).

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 4,12249E-0025; 1,06525E-0025 и 1,61874E-0027, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для V типа зданий (силикатный кирпич $\rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплопоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы

теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 13%; в январе (середина отопительного периода) на 7%; в марте (окончание отопительного периода) на 75%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 6 часов и 20 часов. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного периода, но все же под воздействием солнечной радиации срок эксплуатационных свойств здания увеличивается на 3 ч.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из силикатного кирпича, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_{19} = 17,9 - 0,7435417x + 0,0712187x^2 - 0,0035336x^3 + 0,0000622x^4 \quad (4.23)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,12013E-0025

Для января месяца отопительного периода:

$$y_{20} = 17,1 - 1,0663194x + 0,1021354x^2 - 0,0050675x^3 + 0,0000892x^4 \quad (4.24)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,55165E-0026

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_{21} = 18,7 - 0,4784028x + 0,0458229x^2 - 0,0022735x^3 + 0,00004x^4 \quad (4.25)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,18897E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 3,12013E-0025; 6,55165E-0026 и 1,18897E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные нами исследования для VI типа зданий (бетон на гравии

$\rho_9 = 1930 \text{ кг/м}^3$) показали, что теплопоступление от солнечной радиации позволяет, за счет её накопления в ограждающих конструкциях, при отключении системы теплоснабжения снизить динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены до нижнего предела температур для работ средней тяжести в ноябре (начало отопительного периода) на 19%; в январе (середина отопительного периода) влияние не существенно; в марте (окончание отопительного периода) на 61%. В то же время нами установлено, что влияние ветра не существенно в марте и ноябре. Это снижает данные показатели на $\approx 3 \div 5\%$, что увеличивает срок эксплуатационных свойств здания (обеспечение параметров микроклимата помещений) соответственно на 5 часов и 24 часа. В январе ветровое воздействие существеннее, чем в начале и конце отопительного периода, поэтому срок эксплуатационных свойств здания принципиально не увеличивается.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из бетона на гравии, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации (приложение Ж).

Для ноября месяца отопительного периода:

$$y_{22} = 14,5 - 0,605625x + 0,0511285x^2 - 0,0025289x^3 + 0,0000458x^4 \quad (4.26)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,21035E-0026

Для января месяца отопительного периода:

$$y_{23} = 12,1 - 0,860625x + 0,0726562x^2 - 0,0035937x^3 + 0,0000651x^4 \quad (4.27)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,85477E-0026

Для марта месяца отопительного периода:

$$y_{24} = 16,4 - 0,3825x + 0,0322917x^2 - 0,0015972x^3 + 0,0000289x^4 \quad (4.28)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,62959E-0026

* Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 3,21035E-0026; 3,85477E-0026 и 6,62959E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при

отключения системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

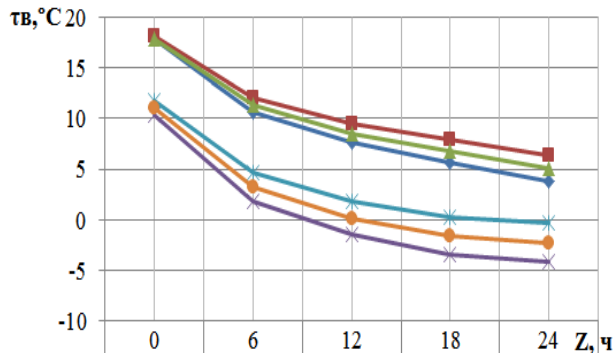


Рис. 4.11. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающихся помещениях I типа $\rho_3 = 864 \text{ кг/м}^3$ и III типа $\rho_3 = 2688 \text{ кг/м}^3$ зданий от времени Z для января месяца.

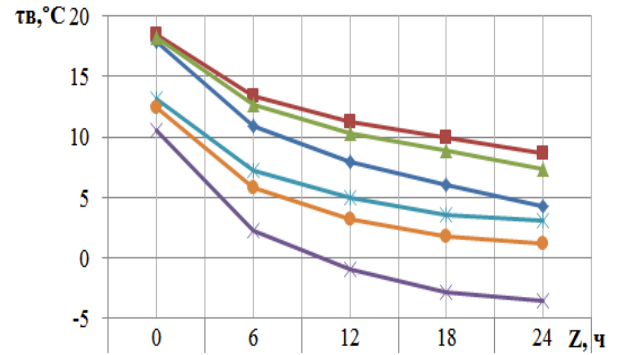


Рис. 4.12. Зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_e в охлаждающихся помещениях I типа $\rho_3 = 864 \text{ кг/м}^3$ и III типа $\rho_3 = 2688 \text{ кг/м}^3$ зданий от времени Z для февраля месяца.

Условные обозначения:

для I типа: ■ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра; для III типа ✱ – с учётом солнечной радиации; ● – с учётом солнечной радиации и ветра; ✱ – без учёта солнечной радиации и ветра

На основании обработки полученных данных были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона и железобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в январе месяце (приложение 3).

Для керамзитобетона в январе месяца отопительного периода:

$$y_{25} = 18,1 - 1,5058333x + 0,1038194x^2 - 0,0037616x^3 + 0,0000502x^4 \quad (4.29)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,03431E-0026

Для железобетона в январе месяце отопительного периода:

$$y_{26} = 11,8 - 1,8766667x + 0,1502315x^2 - 0,0066019x^3 + 0,0001155x^4 \quad (4.30)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,24315E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 4,03431E-0026; 1,24315E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

На основании обработки полученных данных были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона и железобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в феврале месяце (приложение 3).

Для керамзитобетона в феврале месяце отопительного периода:

$$y_{27} = 18,4 - 1,251x + 0,08625x^2 - 0,003125x^3 + 0,0000417x^4 \quad (4.31)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,51994E-0026

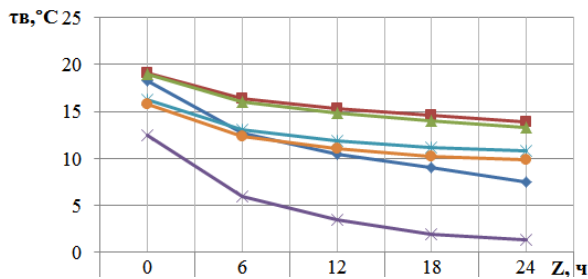


Рис. 4.13. Зависимости изменения температуры на внутренней поверхности наружной стены τ_6 в охлаждающихся помещениях I и III типа зданий от времени Z для марта.

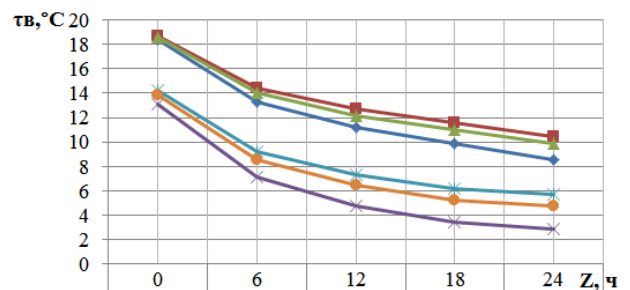


Рис. 4.14. Зависимости изменения температуры на внутренней поверхности наружной стены τ_6 в охлаждающихся помещениях I и III типа зданий от времени Z для ноября.

Условные обозначения:

для I типа: ■ — с учётом солнечной радиации; ▲ — с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ — без учёта солнечной радиации и ветра; для III типа ✱ — с учётом солнечной радиации; ● — с учётом солнечной радиации и ветра; ✕ — без учёта солнечной радиации и ветра

Для железобетона в феврале месяце отопительного периода:

$$y_{28} = 13,1 - 1,526x + 0,1168218x^2 - 0,004794x^3 + 0,0000771x^4 \quad (4.32)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,05443E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 2,51994E-0026; 2,05443E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона и железобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в марте месяце (приложение 3).

Для керамзитобетона в марте месяца отопительного периода:

$$y_{29} = 19,1 - 0,6718333x + 0,0463194x^2 - 0,0016782x^3 + 0,0000224x^4 \quad (4.33)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,11785E-0025

Для железобетона в марте месяца отопительного периода:

$$y_{30} = 16,2 - 0,812x + 0,062162x^2 - 0,0025509x^3 + 0,000041x^4 \quad (4.34)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,25271E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,11785E-0025; 1,25271E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона и железобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в ноябре месяце (приложение 3).

Для керамзитобетона в ноябре месяца отопительного периода:

$$y_{31} = 18,7 - 1,0579444x + 0,0729398x^2 - 0,0026427x^3 + 0,0000352x^4 \quad (4.35)$$

Сумма квадратов отклонений = 8,44554E-0026

Для железобетона в ноябре месяца отопительного периода:

$$y_{32} = 14,2 - 1,288x + 0,0986019x^2 - 0,0040463x^3 + 0,0000651x^4 \quad (4.36)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,36836E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 8,44554E-0026; 1,36836E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

На основании обработки полученных данных нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона и железобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в декабре месяце (приложение 3).

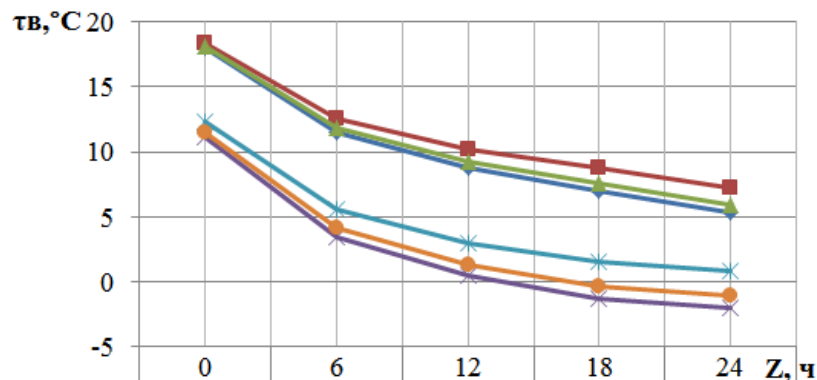


Рис. 4.15. Зависимости изменения температуры на внутренней поверхности наружной стены t_w в охлаждающихся помещениях I типа (керамзитобетон $\rho_s = 864 \text{ кг/м}^3$; ■ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра) и III типа (железобетон $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$; * – с учётом солнечной радиации; ● – с учётом солнечной радиации и ветра; ✕ – без учёта солнечной радиации и ветра) зданий от времени Z для декабря месяца.

Для керамзитобетона в декабре месяца отопительного периода:

$$y_{33} = 18,3 - 1,4208889x + 0,097963x^2 - 0,0035494x^3 + 0,0000473x^4 \quad (4.37)$$

Сумма квадратов отклонений = 8,73340E-0026

Для железобетона в декабре месяца отопительного периода:

$$y_{34} = 12,3 - 1,736x + 0,1328981x^2 - 0,0054537x^3 + 0,0000877x^4 \quad (4.38)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,14144E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 8,73340E-0026; 2,14144E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Проведенные исследования 6 типов зданий показали, что потери тепловой энергии, которые определяются теплозащитными свойствами применяемых строительных материалов, существенно сказываются на изменении температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций при отключении систем теплоснабжения. Представленные зависимости изменения температуры внутренней поверхности наружной стены τ_s в охлаждающихся помещениях I типа (керамзитобетон $\rho_s = 864 \text{ кг/м}^3$) и III типа (железобетон $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$) (рис. 4.11 – 4.15) позволяют нам оценить влияние солнечной радиации и ветра в отопительный период для Днепропетровска при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения. Так, в январе месяце для I типа здания темп охлаждения внутренней поверхности наружной стены с учетом солнечной радиации уменьшится через 24 часа на 2,5 °С; для III типа здания – на 3,8 °С. В феврале месяце для I типа здания – на 4,4 °С; для III типа здания – на 6,6 °С. В марте месяце для I типа здания – на 6,3 °С; для III типа здания – на 9,5 °С. В ноябре месяце для I типа здания – на 1,9 °С; для III типа здания – на 2,8 °С. В декабре месяце для I типа здания – на 1,9 °С; для III типа здания – на 2,9 °С. Ветровое воздействие оказывает существенное влияние на изменение температуры внутренней поверхности ограждений в середине отопительного периода, особенно в декабре и январе. Однако воздействие солнечной радиации является и здесь преобладающим. Это необходимо учитывать при обеспечении и нормализации параметров микроклимата помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения.

4.2. Исследование динамики охлаждения воздуха помещения после отключения системы отопления с учётом солнечной радиации и ветра

Летом радиационные поступления составляют около 20 °С, зимой от 3 до 7 °С. Особенно важно при обеспечении параметров микроклимата помещений учитывать весенние радиационные поступления тепла (10...14 °С), т.к. это позволяет в ряде случаев сэкономить расходы топлива и несколько сократить отопительный период.

Влияние солнечной радиации определяется площадью окон, условиями застройки, ориентацией стен относительно сторон света. Оптимальная относительная площадь окон для условий Украины составляет $\approx 0,3$. В тоже время установлено, что в плотной городской застройке количество солнечной радиации, поступающее на вертикальные ограждения, вдвое меньше, чем в условиях свободной разомкнутой застройки.

Наименьшее количество тепла получают северные стены, наибольшее – южные. Разница в рациональных теплопоступлениях составляет 5...15 °С. Летом больше прогреваются ограждения восточной и юго-восточной ориентации, радиационные теплопоступления здесь могут достигать 22 °С [3, 6, 18-20, 123]. Теплопотери зданий вследствие воздействия ветра в Днепропетровске в среднем невелики – около 3 °С в год. Летом влиянием ветра на тепловой режим зданий можно пренебречь. Для Днепропетровска величина $\Delta t^{мес}$ сравнительно невелика. Для холодного полугодия $\Delta t^{мес} = 14...21$ °С. Летом наблюдается избыток тепла (21...26 °С). Суммарные помесечные теплопотери составляют 83 °С в год. Плотная застройка неблагоприятно сказывается на тепловом режиме зданий. Дефицит тепла в этом случае больше (103 °С в год), а эффективная температура ниже по сравнению с открытой застройкой.

Продолжительность отопительного периода, рассчитанная с учетом наружной температуры, ветра и солнечной радиации, в среднем мало отличается от величин, указанных в [19]. Однако в условиях различно ориентированных помещений она колеблется в значительных пределах. В условиях свободной разомкнутой застройки помещения требуют меньшей продолжительности отопительного периода, чем в условиях плотной застройки (табл. 4.1). Различия составляют 1...2 месяца. Данные табл. 4.4 указывают на необходимость регулируемого режима отопления и учета ориентации ограждений.

Системы отопления нуждаются как в централизованной, так и в индивидуальной регулировке, которая необходима в связи с периодическими поступлениями в помещение теплоты солнечной радиации и бытовых тепловыделений, и в связи с изменяющимся количеством наружного воздуха, инфильтрующегося в помещение. Эти тепловыделения не совпадают по времени в каждом помещении, поэтому представляется возможным использовать их для снижения расхода теплоты при наличии автоматически действующих регуляторов, устанавливаемых у каждого нагревательного прибора. Такие регуляторы позволят управлять процессом поддержания параметров микроклимата и экономить не менее 12% топлива, расходуемого на отопление зданий.

Таблица 4.4

Продолжительность периода теплотерь (месяцев)

Условия застройки	Север	Восток	Юг
Открытая	7,2	5,7	5,0
Плотная	8,0	7,0	6,7

Значительное снижение расхода теплоты на отопление зданий может быть достигнуто путем применения автоматических систем пофасадного регулирования теплового режима. Суточные изменения направления и скорости ветра, угла падения солнечных лучей (или их отсутствие), изменение температуры воздуха в помещениях, расположенных на разных фасадах здания. Пофасадное автоматическое регулирование работы системы отопления позволяет устранить эти негативные явления.

Нами для обеспечения необходимых условий микроклимата было рассмотрено охлаждение внутреннего воздуха помещений с учётом воздействия солнечной радиации и ветра. Расчёт выполнялся, как и в случае охлаждения внутренней поверхности стенок, для 5-ти месяцев отопительного периода в г. Днепропетровске по среднемесячным температурам наружного воздуха (табл. 4.5).

В результате исследований была определена температура среды (наружного воздуха) [6, 159]:

- с учётом солнечной радиации:

$$t_c = t_n^{мес} + t_{рад}^{мес} \quad (4.39)$$

- с учётом солнечной радиации и ветра:

$$t_c = t_n^{мес} + t_{рад}^{мес} - t_{ветр}^{мес} \quad (4.40)$$

- без учёта солнечной радиации и ветра:

$$t_c = t_n^{мес} \quad (4.41)$$

Результаты исследований для зданий с коэффициентом аккумуляции тепла $\beta = 30$ ч приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Зависимости температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающихся помещениях от времени Z при $\beta = 30$ ч для 5-ти месяцев отопительного периода*

$t_n^{мес}$, °С	Температура помещения t_g , °С после отключения системы отопления через время Z , час											
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
-5,4 январь	18,0	16,1	14,5	12,9	11,6	10,3	9,2	8,2	7,3	6,5	5,7	5,0
	17,8	15,8	13,9	12,3	10,8	9,4	8,2	7,1	6,1	5,2	4,4	3,6
	17,6	15,4	13,4	11,6	10,0	8,5	7,2	6,0	4,9	3,9	3,1	2,2
-4,8 феврал	18,3	16,8	15,4	14,1	13,0	12,0	11,0	10,2	9,4	8,8	8,1	7,6
	18,1	16,4	14,9	13,5	12,2	11,1	10,0	9,1	8,1	7,5	6,8	6,2
	17,6	15,5	13,6	11,8	10,3	8,8	7,5	6,3	5,3	4,3	3,5	2,7
0,4 март	19,1	18,3	17,5	16,8	16,2	15,7	15,2	14,7	14,3	13,9	13,6	13,3
	19,0	18,1	17,3	16,5	15,8	15,2	14,7	14,2	13,7	13,3	12,9	12,6
	18,1	16,5	14,9	13,5	12,3	11,2	10,1	9,2	8,4	7,6	6,9	6,3
2,0 ноябрь	18,6	17,3	16,1	15,1	14,1	13,2	12,5	11,7	11,1	10,5	10,0	9,5
	18,5	17,1	15,9	14,7	13,7	12,8	12,0	11,2	10,5	9,9	9,3	8,8
	18,3	16,7	15,3	14,1	12,9	11,9	10,9	10,1	9,3	8,6	8,0	7,4
-3,1 декабр	18,1	16,4	14,8	13,4	12,1	10,9	9,9	8,9	8,1	7,3	6,6	6,0
	17,9	16,0	14,3	12,7	11,3	10,0	8,9	7,8	6,9	6,0	5,3	4,6
	17,8	15,8	14,0	12,4	10,9	9,6	8,4	7,3	6,3	5,4	4,6	3,9

*Примечание. Для каждого месяца: 1 строка - с учетом солнечной радиации;

2 строка - с учетом солнечной радиации и ветра;

3 строка - без учета солнечной радиации и ветра.

На рис. 4.16 и 4.17 приведена динамика ожидаемых температур внутреннего воздуха помещений (их охлаждение) при среднемесячных температурах месяцев отопительного периода для Днепропетровска с учётом солнечной радиации и ветра (по данным табл. 4.5).

На рис. 4.18 – 4.20 приведена динамика ожидаемых температур внутреннего воздуха охлаждаемых помещений при среднемесячных температурах декабря, января, февраля месяцев для Днепропетровска с учётом солнечной радиации и ветра в

зависимости от значения коэффициента аккумуляции тепла здания $\beta = 30$ ч и $\beta = 60$ ч.

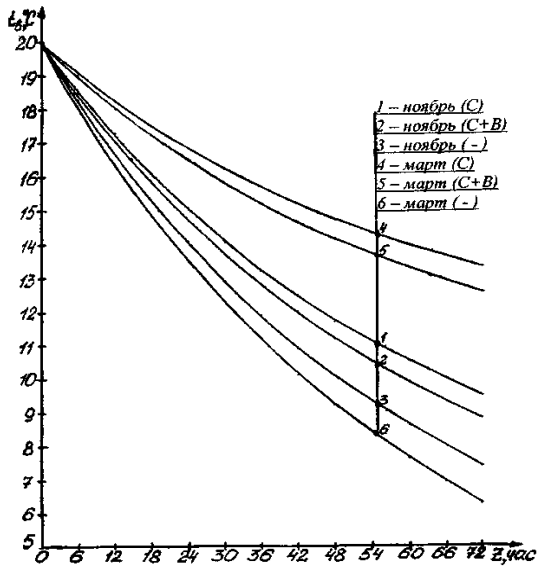


Рис. 4.16. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охл. помещении от времени Z для марта и ноября месяцев при $\beta = 30$ ч.

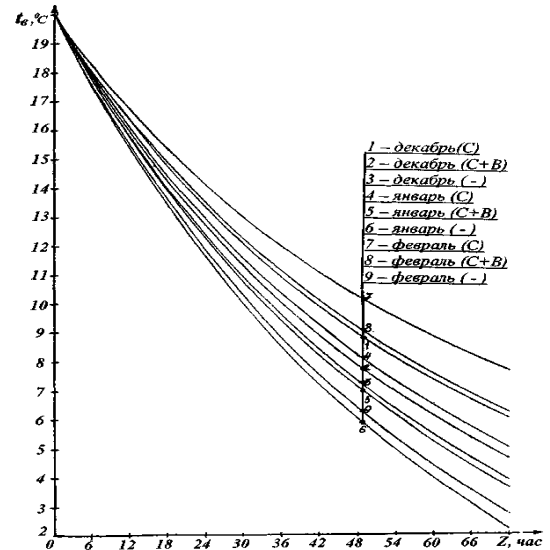


Рис. 4.17. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охл. помещении от времени Z для декабря, января, февраля месяцев при $\beta = 30$ ч.

Условные обозначения:

(С) - с учётом солнечной радиации; (С+В) - с учётом солнечной радиации и ветра; (-)
- без учёта солнечной радиации и ветра.

Анализ полученных графиков охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения свидетельствует о том, что фактическая теплоустойчивость зданий в экосистеме «окружающая среда - здание - человек» выше на 10-20% (даже с учётом негативного ветрового воздействия), что, безусловно, связано со значительными добавками за счет солнечной радиации.

В дальнейшем нами были проведены исследования изменения температуры внутреннего воздуха помещений при аварийных ситуациях в системах теплогазоснабжения для более широкого спектра значений коэффициентов аккумуляции тепла зданий, а именно $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч для пяти месяцев отопительного периода.

Результаты проведенных нами исследований приведены ниже в табл. 4.6 – 4.8.

На рис. 4.21 – 4.23 представлены, полученные по данным таблиц 4.6 – 4.8, зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающемся

помещении от времени Z для ноября, января, марта месяцев отопительного периода с учётом солнечной радиации и без учёта солнечной радиации при коэффициентах аккумуляции тепла зданий $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч для Днепропетровска.

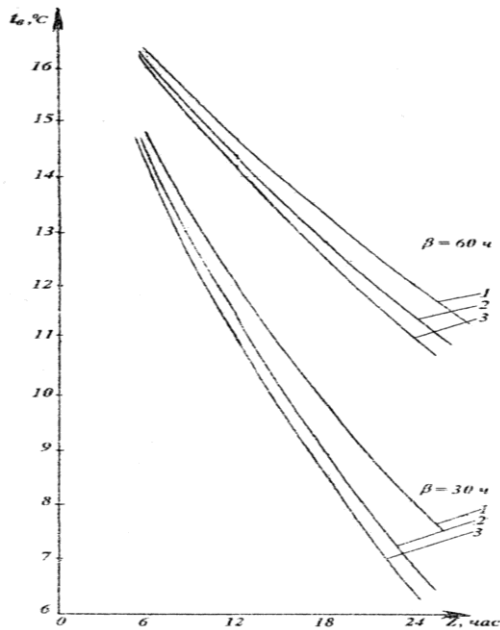


Рис. 4.18. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающемся помещении от времени Z в декабре месяце при $\beta = 30$ ч и 60 ч для Днепропетровска (система отопления отключена при $t_g' = 18$ °С):

- 1 - при $t_n = -0,1$ °С (среднемесячная температура с учётом солнечной радиации);
- 2 - при $t_n = -2,1$ °С (среднемесячная температура с учётом солнечной радиации и ветра);
- 3 - при $t_n = -3,1$ °С (среднемесячная температура без учёта солнечной радиации и ветра)

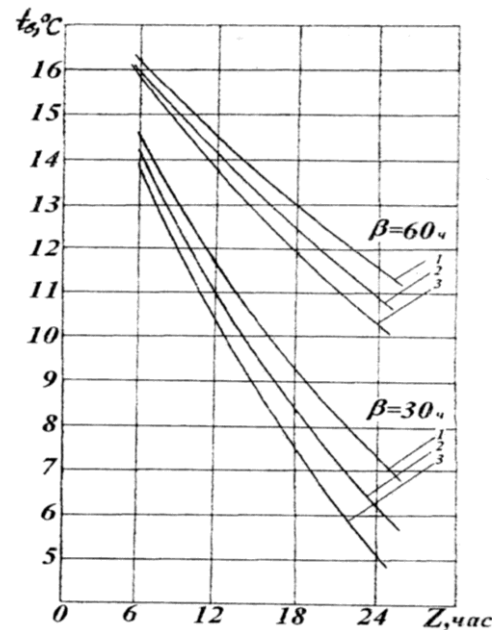


Рис. 4.19. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающемся помещении от времени Z в январе месяце при $\beta = 30$ ч и 60 ч для Днепропетровска (система отопления отключена при $t_g' = 18$ °С):

- 1 - при $t_n = -1,4$ °С (среднемесячная температура с учётом солнечной радиации);
- 2 - при $t_n = -3,4$ °С (среднемесячная температура с учётом солнечной радиации и ветра);
- 3 - при $t_n = -5,4$ °С (среднемесячная температура без учёта солнечной радиации и ветра)

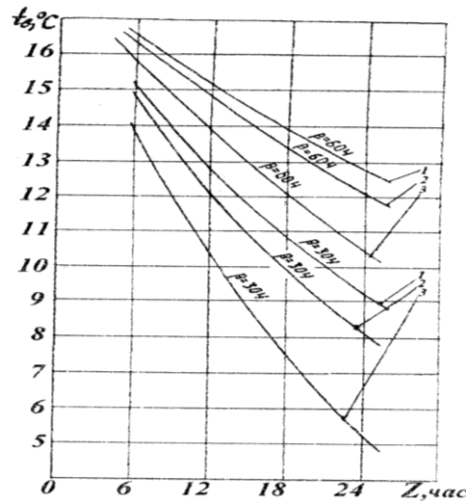


Рис. 4.20. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающемся помещении от времени Z в феврале месяце при $\beta = 30$ ч, и 60 ч для г. Днепропетровска (система отопления отключена при $t'_g = 18$ °С):

- 1 - при $t_n = 2,2$ °С (среднемесячная температура с учётом солнечной радиации);
- 2 - при $t_n = 0,2$ °С (среднемесячная температура с учётом солнечной радиации и ветра);
- 3 - при $t_n = -4,8$ °С (среднемесячная температура без учёта солнечной радиации и ветра)

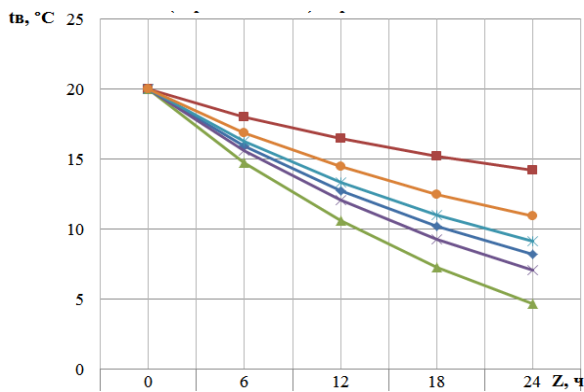


Рис. 4.21. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающемся помещении от времени Z при $\beta = 26$ ч для Днепропетровска.

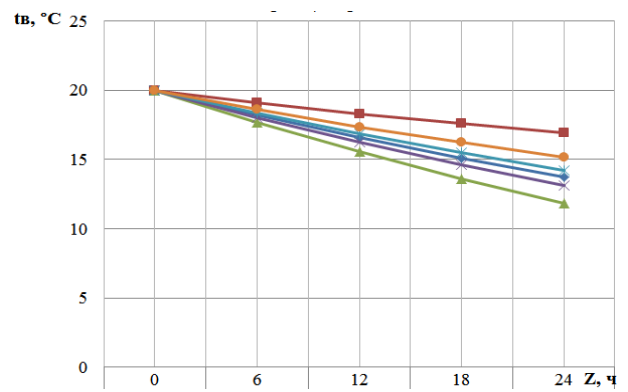


Рис. 4.22. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающемся помещении от времени Z при $\beta = 62$ ч для Днепропетровска.

Условные обозначения:

для ноября (— с учётом солнечной радиации; * — без учёта солнечной радиации и ветра); для января (* — с учётом солнечной радиации; * — без учёта солнечной радиации и ветра); для марта (— с учётом солнечной радиации; * — без учёта солнечной радиации и ветра)

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в ноябре (начало отопительного периода), в январе (середина отопительного периода) и в марте (конец отопительного периода) (приложение И).

В марте месяце отопительного периода при $\beta = 26$ ч:

$$y_{38} = 20 - 0,369087x + 0,0070497x^2 - 0,0000849x^3 + 5,56649E - 0026x^4 \quad (4.42)$$

Сумма квадратов отклонений = 8,66390E-0026

Таблица 4.6

Зависимости температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающихся помещениях от времени Z при $\beta = 26$ ч для 5-ти месяцев отопительного периода*

Среднемесячная температура месяцев отопительного периода $t_n^{мес}$, °С	Температура помещения t_g , °С после отключения системы отопления через время Z , час				
	0 час	6 час	12 час	18 час	24 час
-5,4 январь	20,0	15,59	12,089	9,309	7,1021
	20,0	15,178	11,349	8,3098	5,8967
	20,0	14,766	10,61	7,3107	4,6913
-4,8 февраль	20,0	13,332	13,42	11,107	9,2718
	20,0	15,92	12,68	10,108	8,0664
	20,0	14,889	10,832	7,6104	5,0529
0,4 март	20,0	18,022	16,451	15,204	14,214
	20,0	17,816	16,081	14,704	13,611
	20,0	15,961	12,754	10,208	8,187
2,0 ноябрь	20,0	16,909	14,455	12,506	10,959
	20,0	16,703	14,085	12,007	10,357
	20,0	16,291	13,346	11,008	9,1513
-3,1 декабрь	20,0	15,858	12,569	9,9584	7,8856
	20,0	15,446	11,83	8,9593	6,6802
	20,0	15,24	11,46	8,4597	6,0775

*Примечание. Для каждого месяца: 1 строка - с учетом солнечной радиации;

2 строка - с учетом солнечной радиации и ветра;

3 строка - без учета солнечной радиации и ветра.

В январе месяце отопительного периода при $\beta = 26$ ч:

$$y_{39} = 20 - 0,8227564x + 0,015715x^2 - 0,0001892x^3 + 0,0000012x^4 \quad (4.43)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,45919E-0026

В ноябре месяце отопительного периода при $\beta = 26$ ч:

$$y_{40} = 20 - 0,5766984x + 0,0110152x^2 - 0,0001326x^3 + 8,69750E - 0007x^4 \quad (4.44)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,24892E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 8,66390E-0026; 6,45919E-0026 и 1,24892E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Таблица 4.7

Зависимости температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающихся помещениях от времени Z при $\beta = 62$ ч для 5-ти месяцев отопительного периода*

Среднемесячная температура месяцев отопительного периода $t_n^{мес}$, °С	Температура помещения t_g , °С после отключения системы отопления через время Z, час				
	0 час	6 час	12 час	18 час	24 час
-5,4 январь	20,0	18,026	16,234	14,608	13,131
	20,0	17,842	15,882	14,104	12,489
	20,0	17,657	15,53	13,6	11,847
-4,8 февраль	20,0	18,358	16,868	15,515	14,287
	20,0	18,174	16,516	15,011	13,645
	20,0	17,712	15,636	13,751	12,04
0,4 март	20,0	19,115	18,311	17,581	16,919
	20,0	19,022	18,135	17,329	16,598
	20,0	18,192	16,551	15,061	13,709
2,0 ноябрь	20,0	18,616	17,36	16,22	15,185
	20,0	18,524	17,184	15,968	14,864
	20,0	18,34	16,833	15,464	14,222
-3,1 декабрь	20,0	18,146	16,463	14,935	13,548
	20,0	17,962	16,111	14,431	12,906
	20,0	17,869	15,935	14,179	12,585

*Примечание. Для каждого месяца: 1 строка - с учетом солнечной радиации;

2 строка - с учетом солнечной радиации и ветра;

3 строка - без учета солнечной радиации и ветра.

На основании обработки полученных данных были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 62$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в ноябре (начало отопительного периода), в январе (середина отопительного периода) и в марте (конец отопительного периода) (приложение И).

В марте месяце отопительного периода при $\beta = 62$ ч:

$$y_{41} = 20 - 0,1548364x + 0,0012479x^2 - 6,61728E - 006x^3 + 2,23380E - 008x^4 \quad (4.45)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,15221E-0026

В ноябре месяце отопительного периода при $\beta = 62$ ч:

$$y_{43} = 20 - 0,2419319x + 0,0019498x^2 - 0,0000103x^3 + 3,48990E - 0008x^4 \quad (4.46)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,79396E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 5,15221E-0026; 5,12349E-0026 и 2,79396E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

На основании обработки полученных данных были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 80$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в ноябре (начало отопительного периода), в январе (середина отопительного периода) и в марте (конец отопительного периода) (приложение И).

В марте месяце отопительного периода при $\beta = 80$ ч:

$$y_{44} = 20 - 0,1199993x + 0,0007498x^2 - 3,09734E - 006x^3 + 8,41371E - 008x^4 \quad (4.47)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,86605E-0026

В январе месяце отопительного периода при $\beta = 80$ ч:

$$y_{45} = 20 - 0,1674985x + 0,0016714x^2 - 6,90444E - 006x^3 + 1,87532E - 008x^4 \quad (4.48)$$

Сумма квадратов отклонений = 7,17753E-0025

В ноябре месяце отопительного периода при $\beta = 80$ ч:

$$y_{46} = 20 - 0,1874989x + 0,0011715x^2 - 4,83900E - 006x^3 + 1,31334E - 008x^4 \quad (4.49)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,72805E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 3,86605E-0026; 7,17753E-0025 и 1,72805E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации.

Таблица 4.8

Зависимости температуры внутреннего воздуха t_g в охлаждающихся помещениях от времени Z при $\beta = 80$ ч для 5-ти месяцев отопительного периода*

Среднемесячная температура месяцев отопительного периода $t_n^{мес}$, °С	Температура помещения t_g , °С после отключения системы отопления через время Z , час				
	0 час	6 час	12 час	18 час	24 час
-5,4 январь	20,0	18,454	17,019	15,688	14,454
	20,0	18,309	16,741	15,285	13,935
	20,0	18,165	16,462	14,882	13,417
-4,8 февраль	20,0	18,714	17,521	16,414	15,387
	20,0	18,569	17,242	16,011	14,868
	20,0	18,208	16,546	15,003	13,572
0,4 март	20,0	19,306	18,663	18,066	17,512
	20,0	19,234	18,524	17,864	17,253
	20,0	18,584	17,27	16,051	14,92
2,0 ноябрь	20,0	18,916	17,911	16,978	16,112
	20,0	18,844	17,771	16,776	15,853
	20,0	18,699	17,493	16,373	15,335
-3,1 декабрь	20,0	18,548	17,2	15,95	14,79
	20,0	18,403	16,922	15,547	14,272
	20,0	18,331	16,782	15,346	14,013

*Примечание. Для каждого месяца: 1 строка - с учетом солнечной радиации;

2 строка - с учетом солнечной радиации и ветра;

3 строка - без учета солнечной радиации и ветра.

При оценке исследований динамики охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения нами проведена сравнительная характеристика зданий с учетом теплотехнических и теплофизических свойств

строительных материалов ограждающих конструкций, а также влияния солнечной радиации и ветра для пяти месяцев отопительного периода в г. Днепропетровске (рис. 4.24 – 4.28).

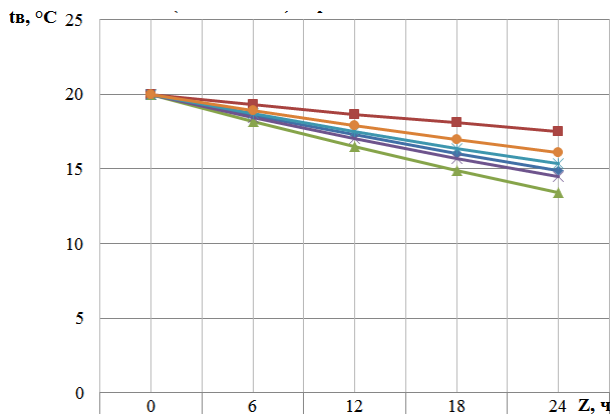


Рис. 4.23. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_v в охлаждающемся помещении от времени Z для ноября (—●— с учётом солнечной радиации; —◆— без учёта солнечной радиации и ветра); для января (—*— с учётом солнечной радиации; —▲— без учёта солнечной радиации и ветра); для марта (—■— с учётом солнечной радиации; —◆— без учёта солнечной радиации и ветра) при $\beta = 80$ ч для Днепропетровска.

На основании обработки полученных данных были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентами теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в январе месяце (приложение К).

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч:

$$y_{47} = 20 - 0,8993514x + 0,0171168x^2 - 0,0002025x^3 + 0,0000013x^4 \quad (4.50)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,30813E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч:

$$y_{48} = 20 - 0,3769306x + 0,002934x^2 - 8,87346E - 006x^3 - 9,64506E - 008x^4 \quad (4.51)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,67862E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч:

$$y_{49} = 20 - 0,12929028x + 0,0019248x^2 - 0,0000143x^3 + 1,60751E - 007x^4 \quad (4.52)$$

Сумма квадратов отклонений = 4,29588E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 6,30813E-0026; 3,67862E-0026 и 4,29588E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом воздействия солнечной радиации и ветра.

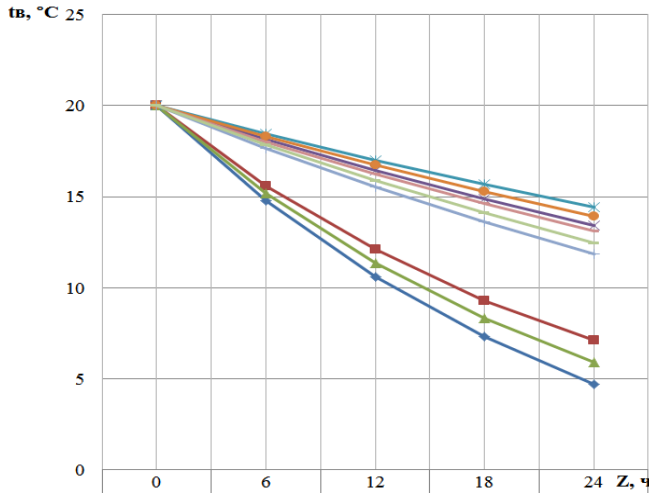


Рис. 4.24. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_v в охлаждающемся помещении от времени Z в январе для г. Днепропетровска.

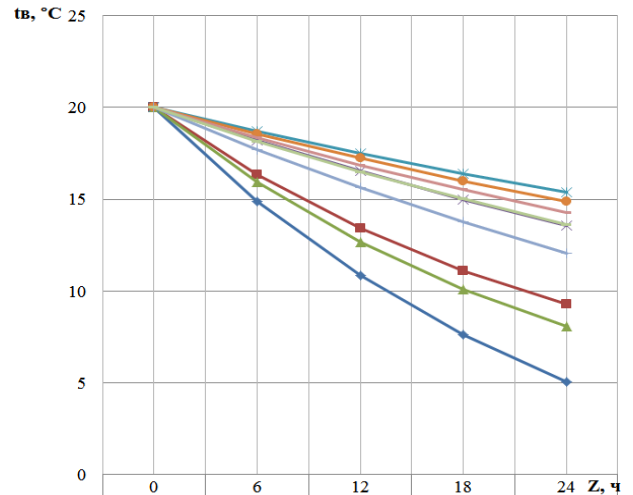


Рис. 4.25. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_v в охлаждающемся помещении от времени Z в феврале для г. Днепропетровска.

Условные обозначения:

$\beta = 26$ ч (\blacksquare – с учётом солнечной радиации; \blacktriangle – с учётом солнечной радиации и ветра; \blacklozenge – без учёта солнечной радиации и ветра); $\beta = 62$ ч (\blacksquare – с учётом солнечной радиации; \blacktriangle – с учётом солнечной радиации и ветра; \blacklozenge – без учёта солнечной радиации и ветра), $\beta = 80$ ч (\blacktriangle – с учётом солнечной радиации; \blacklozenge – с учетом солнечной радиации и ветра; \blacklozenge – без учёта солнечной радиации и ветра)

В результате исследований установлено, что в самый холодный месяц отопительного периода – январь – в зданиях с коэффициентом аккумуляции тепла $\beta = 26$ ч внутренний воздух охлаждается до нижнего предела температур для категории работ средней тяжести 13°C без учета солнечной радиации и ветра 9 часов, с учетом солнечной радиации – 12 часов,

с учетом солнечной радиации и ветра – 11 часов. В зданиях с коэффициентом аккумуляции тепла $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч соответственно без учета солнечной радиации и ветра 18 и 24 часа, с учетом солнечной радиации – 24 и 26 часов, с учетом солнечной радиации и ветра – 21 и 25,5 часа. Несмотря на негативное воздействие ветра в этот период действие солнечной радиации оказывается преобладающим и снижает темп охлаждения внутреннего воздуха помещений для $\beta = 26$ ч в среднем на 20%, для $\beta = 62$ ч – на 17% и для $\beta = 80$ ч – на 7%.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентами теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в феврале месяце (приложение К).

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч:

$$y_{50} = 20 - 0,7609889x + 0,0144935x^2 - 0,0001725x^3 + 0,0000011x^4 \quad (4.53)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,56573E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч:

$$y_{51} = 20 - 0,3192083x + 0,0025544x^2 - 0,0000127x^3 + 3,21502E - 008x^4 \quad (4.54)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,90679E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч:

$$y_{52} = 20 - 0,2476111x + 0,0015556x^2 - 6,17284E - 006x^3 - 2,55569E - 016x^4 \quad (4.55)$$

Сумма квадратов отклонений = 9,73634E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,56573E-0026; 2,90679E-0026 и 9,73634E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом воздействия солнечной радиации и ветра.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентами теплоаккумуляции

$\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в марте месяце (приложение К).

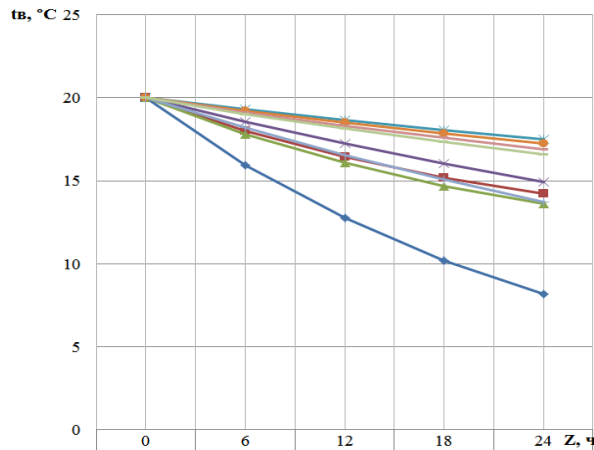


Рис. 4.26. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_v в охлаждающемся помещении от времени Z в марте для г. Днепропетровска.

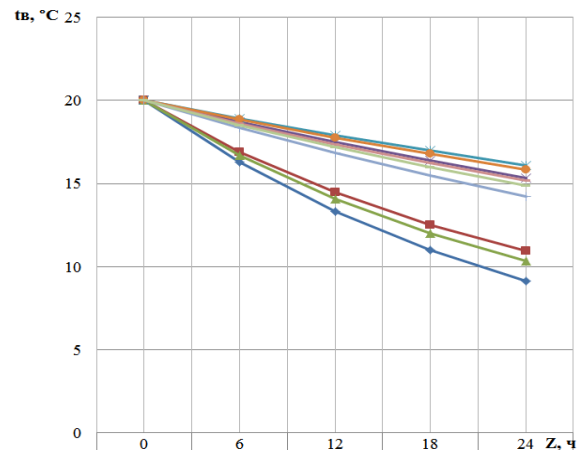


Рис. 4.27. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха t_v в охлаждающемся помещении от времени Z в ноябре для г. Днепропетровска.

Условные обозначения:

$\beta = 26$ ч (■ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра); $\beta = 62$ ч (■ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра), $\beta = 80$ ч (◆ – с учётом солнечной радиации; ● – с учетом солнечной радиации и ветра; ✕ – без учёта солнечной радиации и ветра)

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч:

$$y_{53} = 20 - 0,4071806x + 0,01077164x^2 - 0,0000899x^3 + 5,46553E - 007x^4 \quad (4.56)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,22589E-0025

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч:

$$y_{54} = 20 - 0,1713056x + 0,0014537x^2 - 0,0000123x^3 + 1,18601E - 007x^4 \quad (4.57)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,94178E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч:

$$y_{55} = 20 - 0,132875x + 0,0009248x^2 - 0,0000101x^3 + 1,60751E - 007x^4 \quad (4.58)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,41919E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,22589E-0025; 3,94178E-0026 и 1,41919E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом воздействия солнечной радиации и ветра.

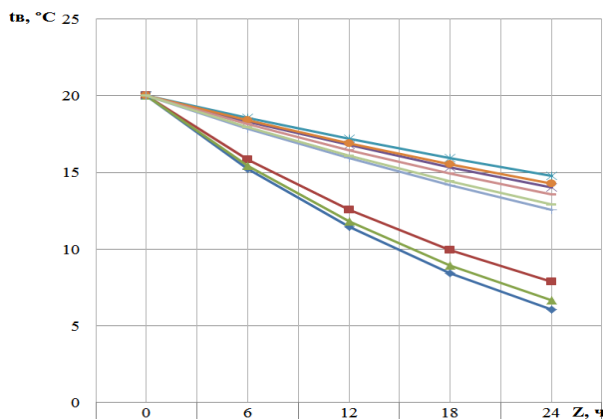


Рис. 4.28. Зависимости изменения температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ в охлаждающемся помещении от времени Z при $\beta = 26$ ч (■ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра); $\beta = 62$ ч (■ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учётом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра), $\beta = 80$ ч (◆ – с учётом солнечной радиации; ▲ – с учетом солнечной радиации и ветра; ◆ – без учёта солнечной радиации и ветра) в декабре для Днепропетровска.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентами теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в ноябре месяце (приложение К).

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч:

$$y_{56} = 20 - 0,6149306x + 0,0117049x^2 - 0,0001385x^3 + 8,68056E - 007x^4 \quad (4.59)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,99654E-0025

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч:

$$y_{57} = 20 - 0,258x + 0,0020556x^2 - 9,25926E - 006x^3 - 1,44117E - 016x^4 \quad (4.60)$$

Сумма квадратов отклонений = 3,26929E-0025

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч:

$$y_{58} = 20 - 0,1998194x + 0,0012095x^2 - 2,70062E - 006x^3 - 3,21502E - 008x^4 \quad (4.61)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,69462E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,99654E-0025; 3,26929E-0025 и 2,69462E-0025, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом воздействия солнечной радиации и ветра.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентами теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в декабре месяце (приложение К).

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч:

$$y_{59} = 20 - 0,8524972x + 0,0169924x^2 - 0,0002494x^3 + 0,0000024x^4 \quad (4.62)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,47848E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч:

$$y_{60} = 20 - 0,3561389x + 0,0028194x^2 - 0,0000123x^3 - 6,44015E - 017x^4 \quad (4.63)$$

Сумма квадратов отклонений = 6,82870E-0026

Темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч:

$$y_{61} = 20 - 0,2765556x + 0,0018009x^2 - 0,0000123x^3 - 1,28601E - 007x^4 \quad (4.64)$$

Сумма квадратов отклонений = 2,29148E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 5,47848E-0026; 6,82870E-

0026 и 2,29148E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения с учетом воздействия солнечной радиации и ветра.

Исследованиями установлено, что совместное влияние солнечной радиации и ветра увеличивает теплоустойчивость зданий и снижает темп охлаждения внутреннего воздуха помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения при $\beta = 26$ ч в ноябре и в марте в среднем на 25%, в середине отопительного периода (декабрь, январь, февраль) в среднем на 20%. В зданиях при $\beta = 62$ ч в ноябре и марте – на 20%, в декабре, январе и феврале – на 15÷17%. В зданиях при $\beta = 80$ ч соответственно на 13% и на 8÷10%. Повышение теплоустойчивости в начале (ноябре) и в конце (марте) отопительного периода связано со значительными надбавками за счет солнечной радиации и минимальным воздействием ветра в этот период. В середине отопительного периода ситуация несколько меняется, действие ветра усиливается, но солнечная радиация оставляет за собой преобладающее значение. Этим и объясняются приведенные нами выше процентные соотношения.

Учитывая необходимость по поддержанию необходимых параметров микроклимата при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения, нами были проведены исследования по определению времени охлаждения внутреннего воздуха помещений до достижения нижнего предела температуры в зависимости от категории выполняемых работ, а также критического значения температуры для работы инженерных коммуникаций с учетом воздействия солнечной радиации и ветра. Исследования проведены для эталонного помещения при коэффициентах аккумуляции тепла $\beta = 26$ ч, $\beta = 62$ ч и $\beta = 80$ ч в самый холодный месяц отопительного периода – январь (рис. 4.29 – 4.31).

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены зависимости изменения времени охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч. Они позволяют определить время достижения нижнего предела температуры внутреннего воздуха в зависимости от категории выполняемых работ, а также – критических значений температур для работы инженерных коммуникаций при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в

самый холодный месяц отопительного периода – январь (приложение Л).

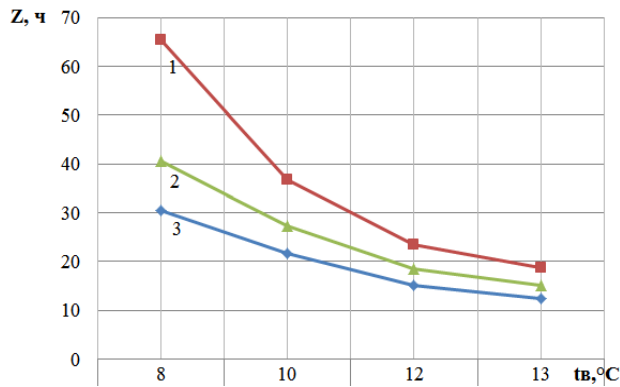


Рис. 4.29. Зависимость изменения времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °C при $\beta = 26$ ч в январе месяце отопительного периода $t_n = -5,4$ °C при отключении системы отопления для эталонного помещения

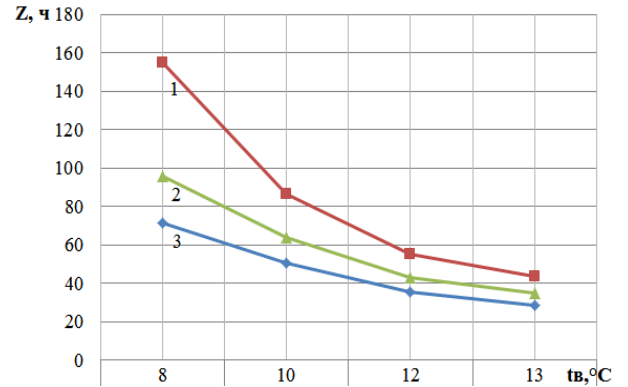


Рис. 4.30. Зависимость изменения времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °C при $\beta = 62$ ч в январе месяце отопительного периода $t_n = -5,4$ °C при отключении системы отопления для эталонного помещения

Условные обозначения:

1 - с учетом солнечной радиации; 2 - с учетом солнечной радиации и ветра; 3 - без учета солнечной радиации и ветра

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч с учетом солнечной радиации:

$$y_{62} = 65,3684047 - 9,6130655x + 0,6882438x^2 - 0,0175556x^3 \quad (4.65)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,92356E-0026

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч с учетом солнечной радиации и ветра:

$$y_{63} = 40,5251071 - 3,8250756x + 0,1184348x^2 + 0,0019356x^3 \quad (4.66)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,12334E-0027

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 26$ ч без учета солнечной радиации и ветра:

$$y_{64} = 30,4978826 - 2,3321075x + 0,0197939x^2 + 0,0041164x^3 \quad (4.67)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,63136E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,92356E-0026; 1,12334E-0027 и 1,63136E-0027, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают время охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения.

На основании обработки полученных данных были получены зависимости изменения времени охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 62$ ч. Они позволяют определить время достижения нижнего предела температуры внутреннего воздуха в зависимости от категории выполняемых работ, а также – критических значений температур для работы инженерных коммуникаций при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в самый холодный месяц отопительного периода – январь (приложение Л).

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч с учетом солнечной радиации:

$$y_{65} = 154,6980965 - 22,9234639x + 1,6411967x^2 - 0,0418633x^3 \quad (4.68)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,88468E-0025

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч с учетом солнечной радиации и ветра:

$$y_{66} = 95,4563869 - 9,1213341x + 0,2824215x^2 + 0,0046157x^3 \quad (4.69)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,51461E-0027

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 62$ ч без учета солнечной радиации и ветра:

$$y_{67} = 71,5453131 - 5,5611795x + 0,0472008x^2 + 0,009816x^3 \quad (4.70)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,51966E-0026

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,88468E-0025; 1,51461E-0027 и 1,51966E-0026, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают время охлаждения внутреннего воздуха помещений при

отключении системы теплоснабжения.

На основании обработки полученных данных получены зависимости изменения времени охлаждения внутреннего воздуха помещений зданий с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 80$ ч. Они позволяют определить время достижения нижнего предела температуры внутреннего воздуха в зависимости от категории выполняемых работ, а также – критических значений температур для работы инженерных коммуникаций при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра в самый холодный месяц отопительного периода – январь (приложение Л).

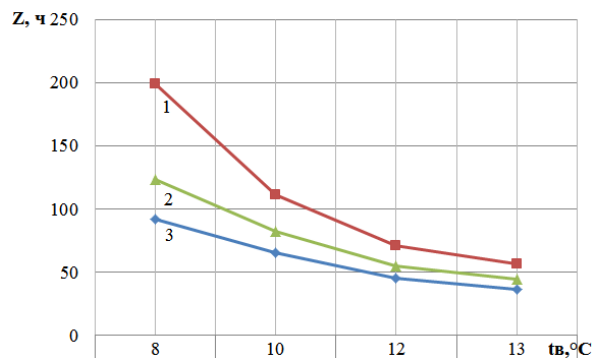


Рис. 4.31. Зависимость изменения времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_e = 20$ °С при $\beta = 80$ ч с учетом солнечной радиации (1), с учетом солнечной радиации и ветра (2), без учета солнечной радиации и ветра (3) в январе месяце отопительного периода $t_{н} = - 5,4$ °С при отключении системы отопления для эталонного помещения

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч с учетом солнечной радиации:

$$y_{68} = 199,3652344 - 29,5786631x + 2,1176732x^2 - 0,0540172x^3 \quad (4.71)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,29752E-0026

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч с учетом солнечной радиации и ветра:

$$y_{69} = 122,9243188 - 11,7694633x + 0,3644148x^2 + 0,0059557x^3 \quad (4.72)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,48432E-0026

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений при $\beta = 80$ ч без учета

солнечной радиации и ветра:

$$y_{70} = 92,0713204 - 7,1757155x + 0,0609043x^2 + 0,0126659x^3 \quad (4.73)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,09920E-0027

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 1,29752E-0026; 1,48432E-0026 и 5,09920E-0027, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают время охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения.

Для комплексной оценки влияния теплоаккумулирующей способности ограждающих конструкций зданий, солнечной радиации и ветра приведены графики времени охлаждения внутреннего воздуха помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения для эталонного помещения в январе – самом холодном месяце отопительного периода (рис. 4.32).

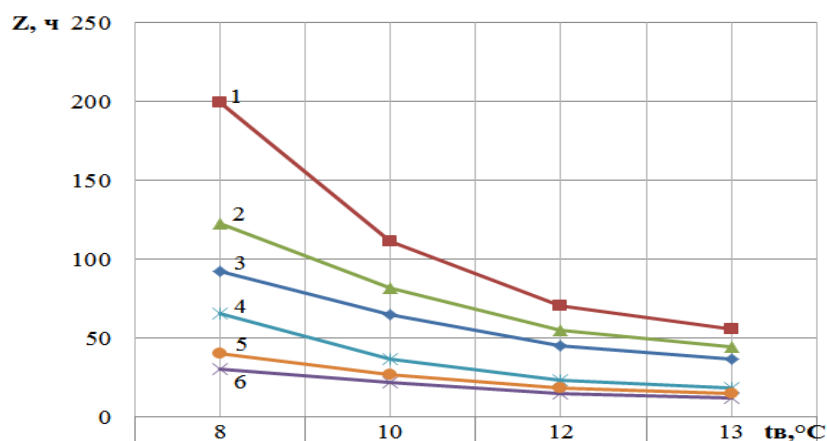


Рис. 4.32. Графики зависимости времени охлаждения помещений от заданной температуры внутреннего воздуха $t_{в} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ при $\beta = 80 \text{ ч}$ с учетом солнечной радиации (1), с учетом солнечной радиации и ветра (2), без учета солнечной радиации и ветра (3) и при $\beta = 26 \text{ ч}$ с учетом солнечной радиации (4), с учетом солнечной радиации и ветра (5), без учета солнечной радиации и ветра (6) в январе месяце отопительного периода $t_{н} = - 5,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ при отключении системы отопления для эталонного помещения

В результате проведенных исследований было установлено, что чем больше аккумулирующая способность ограждающих конструкций, тем медленнее охлаждается воздух помещений и несмотря на негативное ветровое влияние

солнечная радиация даже в самый холодный период оказывает преобладающее действие. Так, при $\beta = 80$ ч время охлаждения температуры внутреннего воздуха до нижнего предела при работах средней и тяжелой тяжести $t_g = 13$ °С составляет: без учета метеовоздействий – 36,6 часа; с учетом солнечной радиации – 56 часов; с учетом солнечной радиации и ветра – 44,5 часа. При $\beta = 26$ ч время охлаждения температуры внутреннего воздуха до нижнего предела при работах средней и тяжелой тяжести $t_g = 13$ °С соответственно составит 12,5 часа; 18,8 часа; 15 часов. Таким образом, воздействие солнечной радиации и ветра увеличивает время охлаждения внутреннего воздуха помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения для первого случая на 22%, для второго – на 25%.

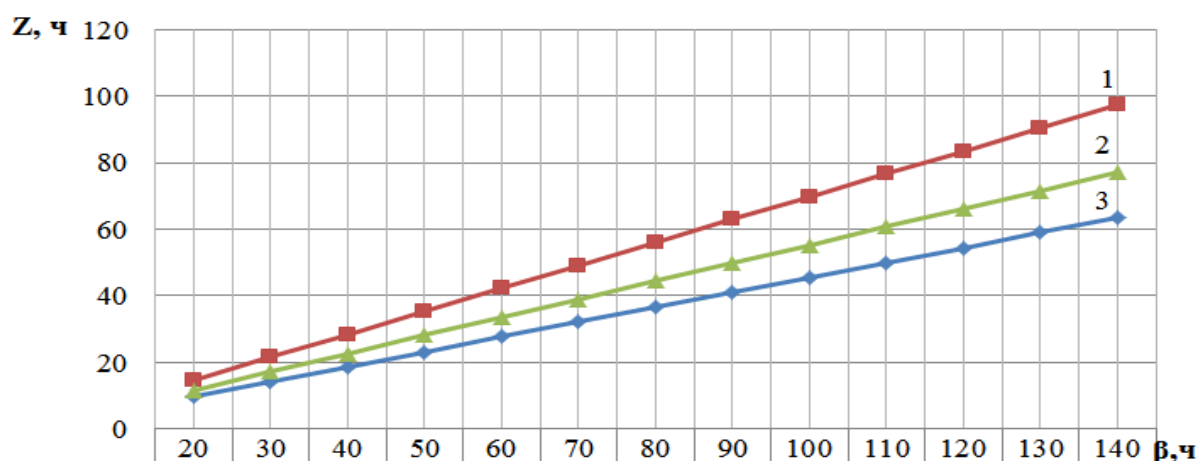


Рис. 4.33. Зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 13$ °С с учетом коэффициента теплоаккумуляции, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплотерь при отключении системы теплоснабжения в январе месяце для г. Днепропетровска: 1 - с учетом солнечной радиации, 2 - с учетом солнечной радиации и ветра; 3 - без учета солнечной радиации и ветра

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности времени охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 13$ °С с учетом коэффициента теплоаккумуляции зданий, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплотерь, воздействия солнечной радиации и ветра в самый холодный месяц отопительного периода – январь для г. Днепропетровска при отключении системы

теплоснабжения, что позволяет производить оценку условий микроклимата помещений (приложение М).

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 13$ °С с учетом солнечной радиации:

$$y_{71} = 0,0272727 + 0,5051948x - 0,001286x^2 + 0,0000112x^3 - 3,31439E - 008x^4 \quad (4.74)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0308225

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 13$ °С с учетом солнечной радиации и ветра:

$$y_{72} = 0,0212121 + 0,7461869x - 0,0012595x^2 + 0,000011x^3 - 3,31439E - 008x^4 \quad (4.75)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0169697

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 13$ °С без учета солнечной радиации и ветра:

$$y_{73} = 0,0238636 + 0,608210x - 0,0014169x^2 + 0,0000124x^3 - 3,372869E - 008x^4 \quad (4.76)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0214773

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 0,0308225; 0,0169697 и 0,0214773, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают время охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения.

На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности времени охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 8$ °С с учетом коэффициента теплоаккумуляции зданий, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплопотерь, воздействия солнечной радиации и ветра в самый холодный месяц отопительного периода – январь для г. Днепропетровска при отключении системы теплоснабжения, что позволяет производить оценку условий микроклимата помещений (приложение М).

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 8$ °С с учетом солнечной радиации:

$$y_{74} = 6,96E - 014 + 1,219594x - 0,0021979x^2 + 0,000024x^3 - 8,28598E - 008x^4 \quad (4.77)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,0178355

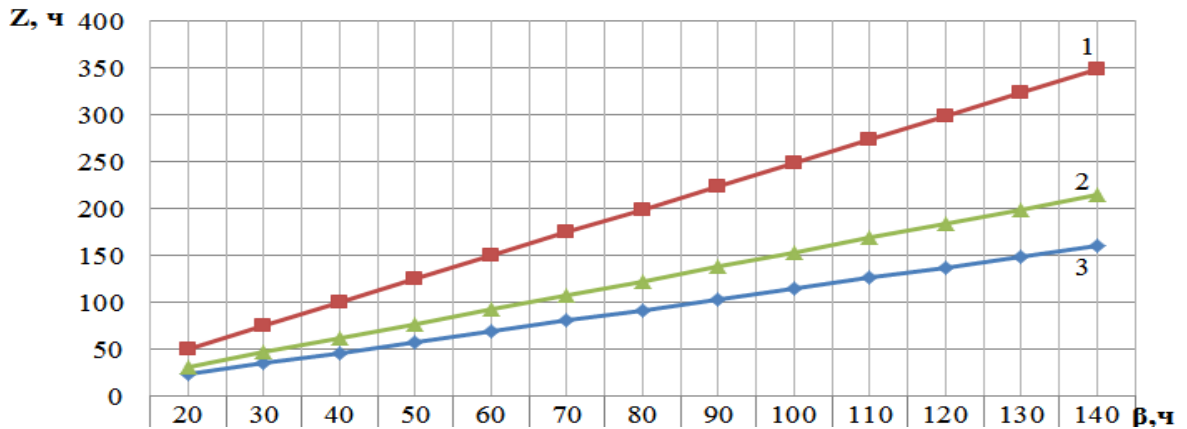


Рис. 4.34. Зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха помещения до $t_g = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ с учетом коэффициента теплоаккумуляции, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплопотерь при отключении системы теплоснабжения в январе месяце для Днепропетровска: 1 - с учетом солнечной радиации, 2 - с учетом солнечной радиации и ветра; 3 - без учета солнечной радиации и ветра

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ с учетом солнечной радиации и ветра:

$$y_{75} = -0,0170455 + 2,5629306x - 0,0022692x^2 + 0,000024x^3 - 7,99006E - 008x^4 \quad (4.78)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,2544643

Время охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_g = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ без учета солнечной радиации и ветра:

$$y_{76} = 0,0056818 + 1,5953405x - 0,0016811x^2 + 0,0000155x^3 - 4,91241E - 008x^4 \quad (4.79)$$

Сумма квадратов отклонений = 0,1822132

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют 0,0178355; 0,2544643 и 0,1822132, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают время охлаждения внутреннего воздуха помещений при отключении системы теплоснабжения.

Анализируя проведенные исследования можно сделать вывод, что время охлаждения внутреннего воздуха помещения зависит от теплоаккумулирующей

способности ограждающих конструкций, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплопотерь, а также от воздействия таких метеорологических факторов, как солнечная радиация и ветер. Характер охлаждения помещений при выходе из стационарного режима для исследованных зданий является идентичным и подчиняется логарифмической зависимости. Время достижения значения критической температуры для эксплуатации инженерных коммуникаций 8°C при $\beta = 80$ ч [3, 6] происходит: без учета метеовоздействий – 92 часа; с учетом солнечной радиации – 199 часов; с учетом солнечной радиации и ветра – 123 часа. При $\beta = 60$ ч соответственно через 69,3 часа; 150 часов; 92,4 часа. При $\beta = 26$ ч – через 29,4 часа; 63 часа; 40 часов. Время охлаждения внутреннего воздуха помещения с учетом метеовоздействий увеличивается в среднем на 30%.

4.3. Выводы по разделу 4

1. В результате проведенных исследований установлено, что существенное влияние на поддержание параметров микроклимата помещений при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения оказывает инсоляция с учетом ориентации здания по сторонам света. Так, обращенные к югу, западу и востоку окна зданий являются элементами пассивной солнечной системы отопления, что приводит к дополнительному накоплению тепла в среднем на 10 ÷ 25%.

2. Исследования показали, что при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения достигается более стабильное поддержание необходимых условий микроклимата помещений в здании I типа, где применяются строительные материалы с более высокими теплоизоляционными свойствами. Так для I типа здания параметр микроклимата помещения – температура внутренней поверхности ограждающей конструкции – по сравнению с III типом здания (самые низкие теплоизоляционные свойства) через 24 часа на $6,7^{\circ}\text{C}$ выше.

3. На основе проведенных нами исследований было установлено, что на поддержание параметров микроклимата в период аварийного отключения системы теплоснабжения для г. Днепропетровска существенное влияние оказывает: тип здания (теплотехнические характеристики строительных материалов ограждающих

конструкций); солнечная радиация, которая снижает динамику охлаждения внутренней поверхности наружной стены от 7% до 25%. В тоже время отмечено, что влияние ветровой нагрузки в начале (ноябре) и в конце (марта) отопительного периода изменяет значение температуры внутренней поверхности стенки в среднем на $3 \div 5\%$. В середине отопительного периода ветровое воздействие существеннее, особенно в декабре и январе и на $6 \div 8\%$ увеличивает темп охлаждения внутренней поверхности наружных стен. Но солнечная радиация все же оказывает и здесь преобладающее действие в среднем на $1 \div 2$ °С.

4. В результате проведенных исследований было установлено, что для управления процессом обеспечения надлежащих параметров микроклимата и не достижения критических значений необходим комплексный подход при оценке условий микроклимата с учетом влияния теплоаккумулирующей способности зданий и сооружений, временного фактора отопительного периода, а также воздействия солнечной радиации и ветра.

5. На основе теоретических и экспериментальных исследований были получены зависимости изменения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций, которые позволяют обеспечивать поддержание параметров микроклимата помещения с учетом типа здания, влияния солнечной радиации и ветра при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения.

РАЗДЕЛ 5

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Влияние внешних факторов на микроклимат помещений жилых зданий

При оценке условий микроклимата помещений необходимо учитывать целый комплекс факторов влияющих на взаимодействие замкнутого пространства помещения с окружающей средой посредством наружных ограждающих конструкций.

При этом, все факторы имеют переменную величину, как по времени, так и сезонные изменения. К таким факторам относятся: роза ветров (1, 8) – ветровое влияние с учетом расположения здания относительно сторон света; инсоляция – влияние солнечной радиации с учетом азимута падения солнечных лучей и ориентации наружных ограждающих конструкций (3, 5); температуры окружающей среды зимой (6) и летом (7); влияние атмосферных осадков в дневное и ночное время суток (4); влияние теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций зданий и сооружений во время эксплуатации (9).

Каждый из приведенных факторов имеет непрогнозируемый характер, меняющийся во времени и при сочетании с другими факторами. Даже при использовании мощного программного обеспечения невозможно учесть все факторы воздействия внешней среды на замкнутое пространство внутри здания, не говоря о том, что необходимо иметь огромное количество контролирующих датчиков внешней среды (1 – 10), внутренней среды (11 – 13) и строительных конструкций (14).

В итоге мы имеем множество переменных, которые необходимо учитывать для создания внутри помещения комфортных условий по температуре, относительной влажности и подаче необходимого количества тепла внутрь помещения(11, 12, 13). И так, мы имеем переменные внешней среды (1 – 10), переменные внутренней среды (11 – 13) и «посредника» - строительную конструкцию – тепловую аккумуляционную способность (14).

Поставленные задачи могут быть решены как аналитическими, так и алгоритмическими методами. Применяя аналитические методы, можно получить

численное значение решения задач. Однако область их применения ограничена невысоким порядком функций.

Алгоритмические методы не дают полного решения задачи, а только указывают последовательность действий, выполнение которых приводит к искомому результату. При этом, вид функции и количество ограничений могут быть переменными. Определение целого ряда теплотехнических свойств материалов и установление зависимостей динамики температур внутреннего воздуха, внутренней и наружной поверхности ограждающих конструкций позволяет прогнозировать изменение параметров микроклимата и при необходимости его поддержания согласно предъявляемым требованиям.

Многообразие действующих факторов, таких как (1 – 10) рис. 5.1 и не контролируемых в настоящее время и вероятностный их характер не позволяет с достаточной для практики точностью описать происходящие процессы.

Для описания вероятностных процессов теплообмена с наружной средой используются статистические методы планирования эксперимента и регрессивного анализа, позволяющие получить искомые оценки зависимости параметра x от n – контролируемых величин, в общем виде:

$$x = C_0 + \sum C_i y_i + \sum C_{ij} y_i y_n + \dots \quad (5.1)$$

где C_i – коэффициенты аппроксимации, зависящие от полинома (степени) аппроксимации.

При этом, произведенные нами исследования позволяют проводить накопление данных процессов теплообмена при эксплуатации зданий и сооружений с учетом влияния наружной среды, в том числе ветровой и солнечной активности. Для получения достаточного объема данных необходимо применение специальной системы контроля с программным обеспечением, что дает возможность оценки указанных параметров в определенный момент времени в виде непрерывного постоянного контроля с определением основных и косвенных параметров.

В конечном итоге мы приходим к выводу о необходимости контролирования основных параметров, которые определяют изменения и взаимодействия факторов внутренней и наружной среды.

Таким образом, зная параметры внешней среды, теплоаккумулирующую способность ограждающих строительных конструкций со стороны замкнутого пространства здания, мы можем оптимизировать количество и качество тепловой энергии необходимое для поддержания внутри здания оптимальных параметров микроклимата.

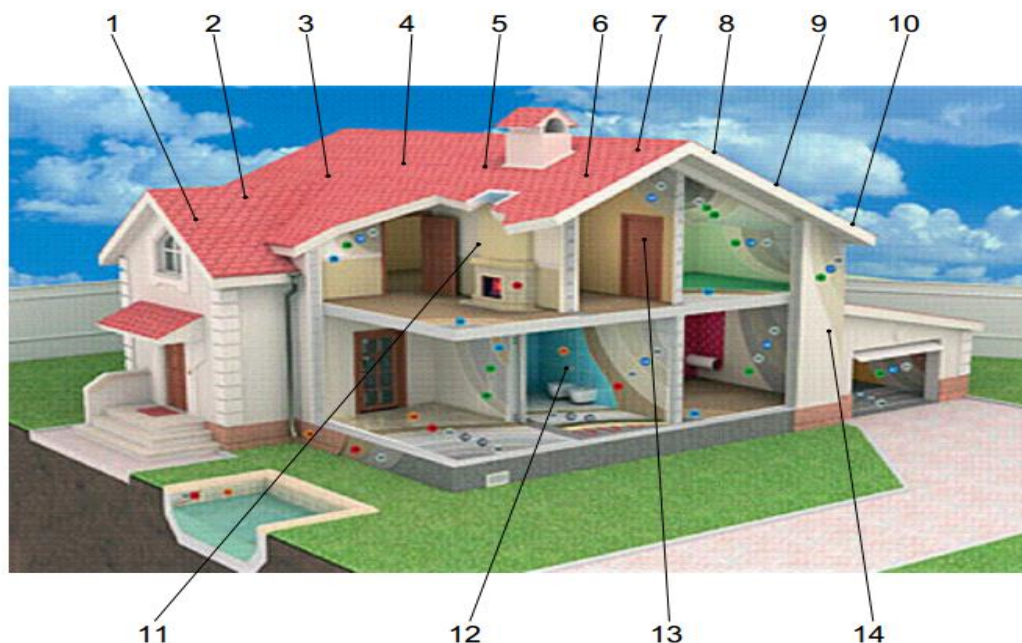


Рис. 5.1 Влияние внешних факторов на микроклимат помещений в процессе взаимодействия с внутренней средой рабочих мест:

1 – роза ветров; 2 – инсоляция днем; 3 – ночное время; 4 – дождь и влажность; 5 – облачность; 6 – температура зимняя; 7 – температура летняя; 8 – скорость ветра; 9 – материал строительных конструкций; 10 – состояние поверхности внешней стороны строительных конструкций; 11 – температура внутри помещения; 12 – оптимальная влажность внутри; 13 – подаваемое количество тепла внутрь помещения; 14 – тепловая активность строительных конструкций.

5.2. Оценка условий микроклимата с учетом теплоустойчивости помещений при аварийных режимах теплоснабжения

Как показали проведенные нами исследования нестационарного теплового режима помещений при аварийных отключениях системы теплоснабжения в отопительный период, оказывают существенное значение на обеспечение

необходимых санитарно-гигиенических условий микроклимата, а также надежную работу инженерных коммуникаций.

Внешние и внутренние тепловые воздействия на тепловой режим зданий в зависимости от характера изменения их параметров можно условно отнести к двум основным типам: периодически повторяющиеся; имеющие разовое проявление.

К первому типу воздействий относятся ежесуточные изменения температуры наружного воздуха, интенсивности солнечной радиации, теплопоступления от системы отопления и т.п.

Тепловые воздействия второго типа возникают при аварийных ситуациях в системе теплообеспечения, при экстремальном понижении температуры наружного воздуха, когда имеет место дефицит тепловой энергии на отопление. В связи с этим, появляется необходимость рассмотрения режима охлаждения помещений как в условиях периодического изменения температуры наружного воздуха, так и при резком ее понижении и последующем повышении.

Ожидаемую температуру внутреннего воздуха t_v , которая установится в помещении через время z после нарушения нормального теплового режима, можно определить по формуле [3]:

$$t_g(z) = t_n + \Delta t_n + (t'_g - (t_n + \Delta t_n))e^{-z/\beta}, \quad (5.2)$$

где Δt_n – температурная надбавка, эквивалентная величине внутренних тепловыделений и избытка теплоты при отоплении Q_0 ;

t'_v - температура внутреннего воздуха к моменту нарушения нормального теплового режима;

β - коэффициент аккумуляции тепловой энергии зданием.

При полном прекращении отопления и отсутствии внутренних тепловыделений, т.е. при $Q_0 = 0$, формула принимает вид:

$$t_g(z) = t_n + (t'_g - t_n)e^{-z/\beta} \quad (5.3)$$

При аварийных ситуациях в системах теплоснабжения важное значение приобретает резервное или дефицитное теплоснабжение с сохранением живучести объектов.

5.2.1. Расчет теплоустойчивости помещений при резервном или дефицитном теплогазоснабжении.

В соответствии с [3, 6] величина резервной теплоотдачи на отопление $Q_{от.рез.}$ определяется, исходя из условия поддержания допустимых тепловых условий в помещениях в пределах времени восстановления работоспособности $Z_{вос}$ отказавшего элемента системы теплообеспечения. Причём, к моменту окончания аварийно-восстановительных работ температура внутреннего воздуха должна соответствовать заданной температуре помещения.

Относительную резервную теплоподачу можно определить по формуле:

$$\bar{Q}_{от.рез.} = 1 - \frac{\Delta t_{\epsilon(зад)}}{\left(t_{\epsilon} - t_n - \frac{Q_{быт}}{Q_{уд}} \right) \left\{ 1 - \left[k_t - \frac{1}{(1 - \beta m)} \right] e^{-\frac{Z}{\beta}} \right\}} \quad (5.4)$$

где: $\Delta t_{\epsilon(зад)} = t_{\epsilon.o.} - t_{\epsilon}$;

t_{ϵ} - текущая температура внутреннего воздуха после отключения системы отопления, °С;

$t_{\epsilon.o.}$ - температура внутреннего воздуха в момент отключения системы отопления, °С;

t_n - температура наружного воздуха, °С;

$Q_{быт} = 21F_{пл}$ - бытовые теплопоступления;

$F_{пл}$ - площадь пола помещения, м²;

$Q_{уд}$ - удельные теплотери, Вт/°С;

m - темп охлаждения нагревательных приборов, ч⁻¹;

β - коэффициент аккумуляции тепла, ч;

k_t - коэффициент для подсчёта теплоаккумуляции ограждающих конструкций помещения;

Z - время охлаждения внутреннего воздуха до заданного $\Delta t_{\epsilon(зад)}$, ч.

Время восстановления в зависимости относительной резервной теплоподачи может быть определено по формуле:

$$Z_{\text{вос}} = -\beta \ln \frac{1 - \frac{\Delta t_{\theta(\text{зад})}}{(t_{\text{в.о.}} - t_{\text{н}} - Q_{\text{быт}}/Q_{\text{уд}})(1 - \bar{Q}_{\text{от.рез}})}}{k_t - 1/(1 - \beta m)} \quad (5.5)$$

В результате проведенных нами исследований были получены графики зависимости относительной резервной теплоподачи от времени восстановления при снижении температуры воздуха в помещении до $t_{\theta} = 14^{\circ}\text{C}$.

На рис. 5.2 приведены зависимости относительной резервной теплоподачи $\bar{Q}_{\text{от.рез.}}$ от времени восстановления $Z_{\text{вос}}/\beta$ при снижении температуры внутреннего воздуха от $t_{\text{в.о.}} = 20^{\circ}\text{C}$ до $t_{\theta(\text{мин})} = 14^{\circ}\text{C}$ при среднемесячных температурах зимних месяцев для г. Днепропетровска.

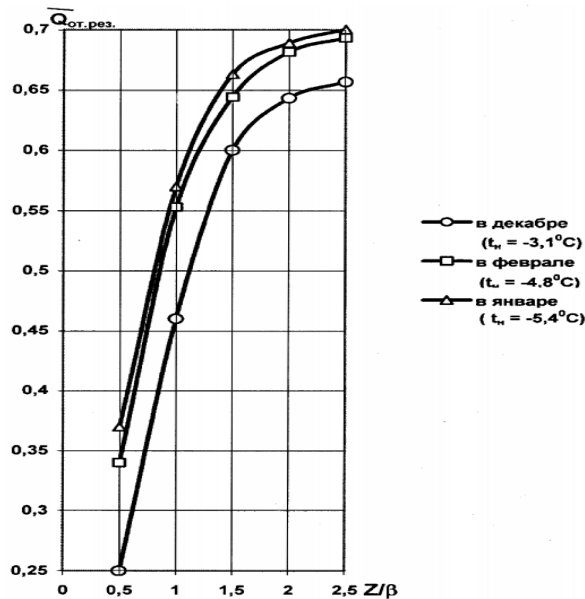


Рис. 5.2 Зависимости относительной резервной теплоподачи $\bar{Q}_{\text{от.рез.}}$ от времени восстановления $Z_{\text{вос}}/\beta$ при снижении температуры внутреннего воздуха от $t_{\text{в.о.}} = 20^{\circ}\text{C}$ до $t_{\theta(\text{мин})} = 14^{\circ}\text{C}$.

Полученные зависимости позволяют определить величину резервной теплоподачи и время восстановления нормального теплоснабжения при различных теплоаккумулирующих способностях ограждающих конструкций.

Для обеспечения необходимых параметров микроклимата и поддержания живучести инженерных коммуникаций могут быть применены дополнительные, предусмотренные заранее виды систем отопления, в том числе и прерывистого

режима на период аварий.

5.2.2. «Прерывистый» режим отопления («натопа») при аварийном отключении систем теплоснабжения.

В последнее годы в ряде стран были предложены «прерывистые» режимы отопления с использованием конвективного струйного нагрева теплоёмких ограждений [42].

С целью формулировки задачи минимизации расхода теплоты, был рассмотрен процесс «прерывистого» режима как совокупность четырёх взаимосвязанных периодов с характерными условиями подачи теплоты (рис. 5.3):

1, 5 – стационарный период, при котором в помещении обеспечиваются нормативные тепловые показатели – санитарно-гигиенические параметры микроклимата или нормальные условия работы инженерных коммуникаций;

2 – период охлаждения как промежуток времени, в течение которого температура внутреннего воздуха снижается до минимально допустимого значения;

3 – период, при котором в помещении обеспечивается поддержание допустимых тепловых показателей с учетом теплоустойчивости конструктивных элементов зданий;

4 – период «натопа» как промежуток времени, в течение которого режим помещения достигает исходного стационарного состояния с нормативными тепловыми показателями.

Для контроля температуры внутреннего воздуха в период охлаждения и своевременного включения системы резервно-прерывистого отопления при достижении минимальной температуры нами разработана автоматизированная система контроля и подачи тепловой энергии (рис. 5.4).

В процессе проведенных нами исследований с применением автоматизированной системы контроля и подачи тепловой энергии (рис. 5.4) была проведена калибровка датчиков с кольцевым и плоским нагревателями для определения относительной ошибки измерения коэффициента теплопроводности эталонных образцов. Применение данной автоматизированной системы контроля на предприятии торгового комплекса АТБ позволило выполнять контроль параметров тепловой энергии с учетом изменения теплотехнических характеристик во времени и

влияния факторов внешней среды. При управлении расходом теплоты для периода «натопы» было установлено, что максимальная экономия энергии достигается при минимизации времени «натопы». Минимизация времени «натопы» достигается при выполнении двух основных условий:

- подача теплоты в помещение с использованием всей имеющейся в резерве установочной мощности источника;
- комплексная организация подачи тепла в период «натопы».

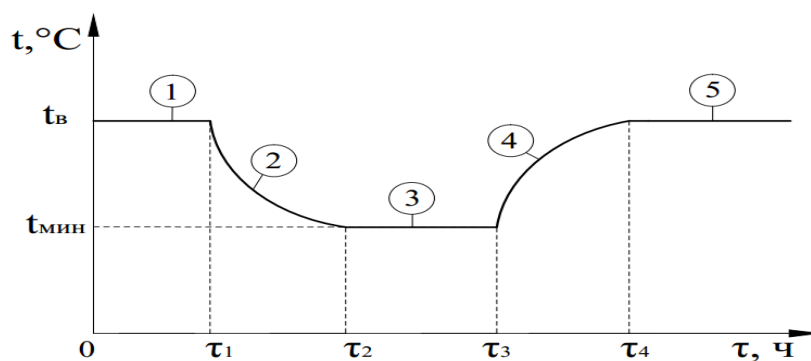


Рис. 5.3 Примерный график изменения температуры внутреннего воздуха при «прерывистом» режиме отопления:

τ_1 - момент времени уменьшения или прекращения подачи теплоты в помещение;

τ_2 - момент времени, начиная с которого в помещении обеспечивается поддержание минимально допустимой температуры внутреннего воздуха;

τ_3 - момент времени начала «натопы» помещения;

τ_4 - момент времени «выхода» теплового режима помещения на исходное стационарное состояние с нормативными тепловыми показателями;

$t_в, t_{мин}$ - соответственно нормативное и минимально допустимое по санитарно-гигиеническим параметрам микроклимата или технологическим требованиям для инженерных сетей значение температуры внутреннего воздуха

Такая методика включает использование комбинации различных систем отопления, например, воздушного и водяного, или воздушного и лучисто-конвективного подогрева поверхностей внутренних ограждающих конструкций, или воздушного отопления настилающимися струями на внутренние поверхности ограждающих конструкций и т.п.

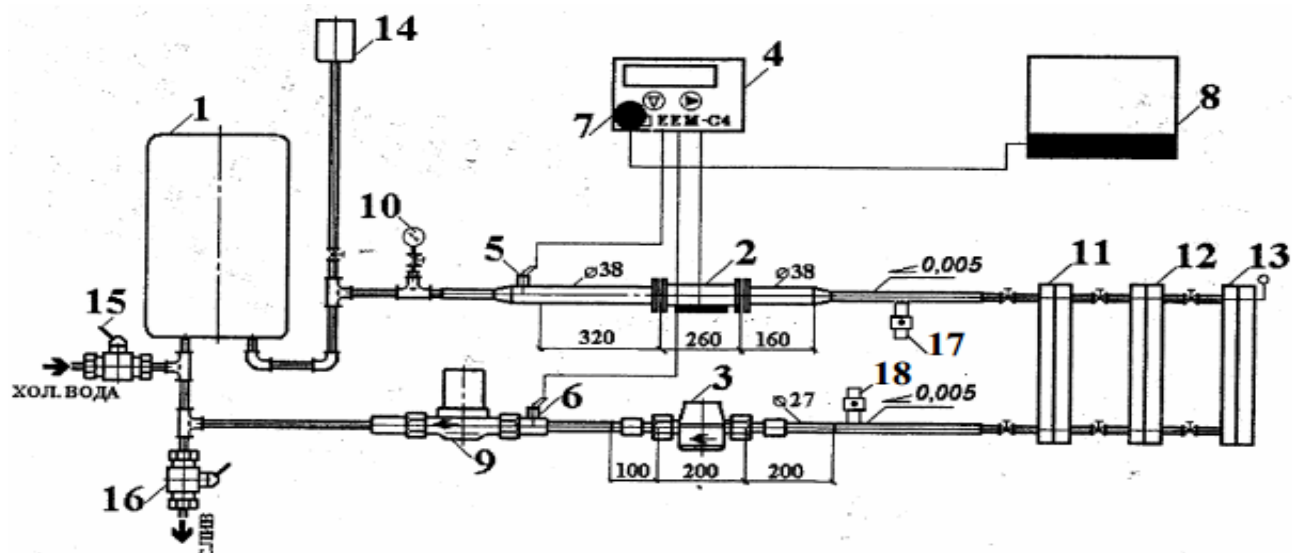


Рис. 5.4 Схема автоматизированной системы контроля и подачи тепловой энергии: 1 – теплогенератор; 2 – ультразвуковой расходомер Ду 32; 3 – расходомер горячей воды Ду 20; 4 – тепловычислитель ЕЕС-С4; 5, 6 – датчики температуры Pt 500; 7 – оптопорт; 8 – компьютер; 9 – циркуляционный насос; 10 – манометр; 11 – радиатор МС-140; 12 – алюминиевый радиатор; 13 – биметаллический радиатор; 14 – расширительный бак; 15, 16 – шаровый кран; 17, 18 – штуцер с краном для измерения теплопроводности

На основании проведенных исследований предложен комплекс мероприятий, методов и способов генерации тепловой энергии и выполнено внедрение предложенной системы резервного использования комбинированных источников теплоснабжения на предприятии торгового комплекса АТБ. Акт внедрения представлен в приложении Н.

5.2.3. Расчёт теплоустойчивости помещений при резервном и дефицитном теплогазоснабжении с учётом солнечной радиации и ветра.

С учетом ранее проведенных нами исследований рассмотрим применение прерывистого отопления с учетом влияния солнечной радиации и ветра.

Динамика температур в охлаждающихся помещениях при отключённой системе отопления (с учётом солнечной радиации и ветра) определялась нами для декабря, января и февраля месяцев (рис. 5.5 – 5.7) при трёх значениях среднемесячной температуры наружного воздуха: без учёта солнечной радиации; с учётом солнечной радиации; с учётом солнечной радиации и ветра. Эти графики были получены при весьма низком значении коэффициента аккумуляции тепла $\beta = 45$ ч, характерном для

однослойных панельных зданий г. Днепропетровска с достаточно большими теплопотерями.

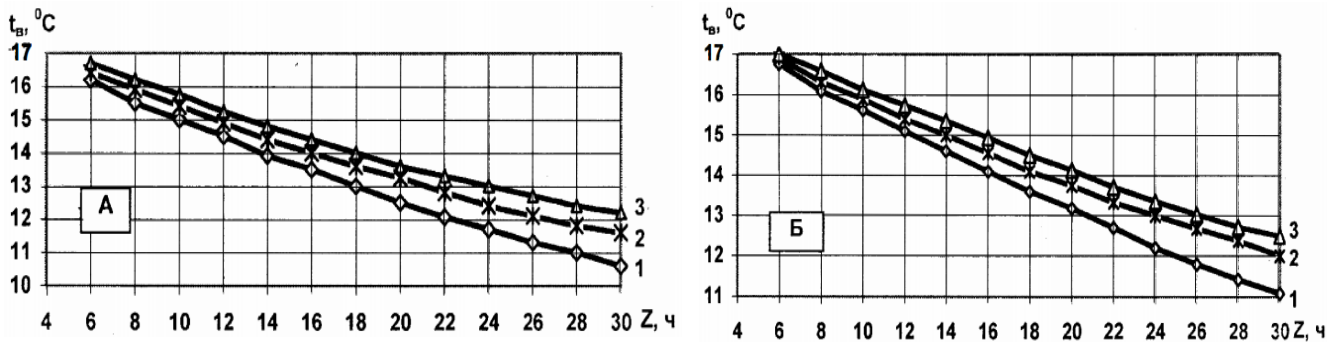


Рис. 5.5 Динамика охлаждения помещений с бетонными отопительными панелями при отключении системы отопления в январе месяце для г. Днепропетровска (при $\beta = 45$ ч; $m = 0,47$ ч⁻¹ (А) и $m = 0,22$ ч⁻¹ (Б)).

- 1 – при $t_n^{мес} = -5,4$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха);
- 2 – при $t_n^{мес} = -3,4$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учетом добавки тепла от солнечной радиации и потерь тепла от ветра);
- 3 – при $t_n^{мес} = -1,4$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации)

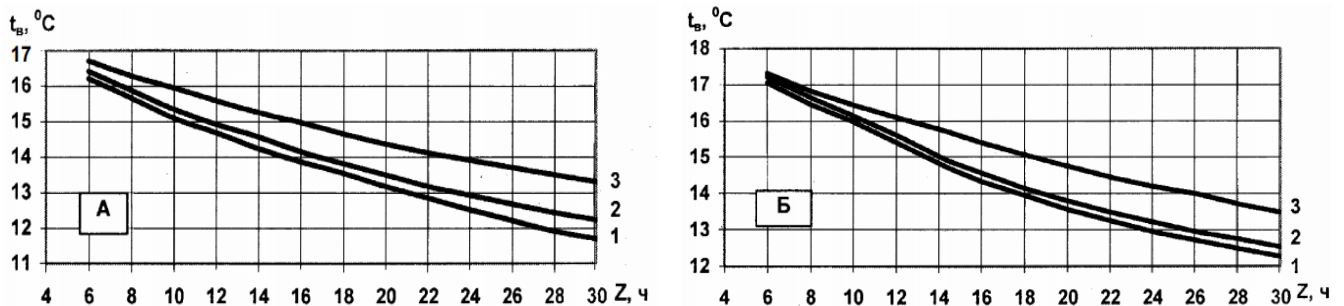


Рис. 5.6 Динамика охлаждения помещений с бетонными отопительными панелями при отключении системы отопления в декабре месяце для г. Днепропетровска (при $\beta = 45$ ч; $m = 0,47$ ч⁻¹ (А) и $m = 0,22$ ч⁻¹ (Б)):

- 1 – при $t_n^{мес} = -3,1$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха);
- 2 – при $t_n^{мес} = -2,1$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации и потерь тепла от ветра);
- 3 – при $t_n^{мес} = -0,1$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации)

В качестве нагревательных приборов были приняты две бетонные отопительные панели с темпом охлаждения $m = 0,22$ и $0,47 \text{ ч}^{-1}$ (табл. 5.1) [3].

Полученные графики свидетельствуют о превалировании положительного влияния солнечной радиации над отрицательным (с точки зрения интенсивности охлаждения) воздействием ветра и свидетельствуют о том, что фактическая теплоустойчивость в экосистеме «окружающая среда - здания - человек» превышает гипотетическую [3, 6] (без учёта солнечной радиации и ветра) на 10-20%.

Таблица 5.1

Темп охлаждения m , ч^{-1} бетонных отопительных панелей

Расположение отопительной панели	m , ч^{-1}
В бетоне перегородочной конструкции толщиной 0,03 м с двухсторонней теплоотдачей ($h = 0,04$ м; $S = 0,16$ м)	0,32
Во внутреннем бетонном слое толщиной 0,05 м наружной стены ($h = 0,0025$ м; $S = 0,16$ м)	0,47
В бетонной плите междуэтажного перекрытия толщиной 0,12 м при теплоотдаче с поверхности потолка ($h = 0,04$ м; $S = 0,16$ м)	0,22

S - расстояние между трубами, м;

H - глубина расположения отопительной панели (труб), м.

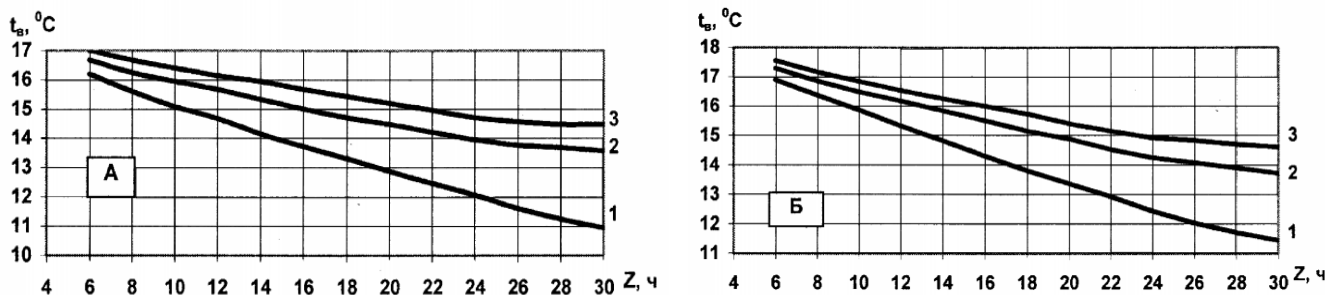


Рис. 5.7 Динамика охлаждения помещений с бетонными отопительными панелями при отключении системы отопления в феврале месяце для г. Днепропетровска (при $\beta = 45$ ч; $m = 0,47 \text{ ч}^{-1}$ (А) и $m = 0,22 \text{ ч}^{-1}$ (Б)):

- 1 - при $t_n^{\text{мес}} = -4,8 \text{ }^\circ\text{C}$ (среднемесячная температура наружного воздуха);
- 2 - при $t_n^{\text{мес}} = -0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации и потерь тепла от ветра),
- 3 - при $t_n^{\text{мес}} = 2,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации)

Величина резервной теплоподдачи с учётом солнечной радиации и ветра при

дефицитном (нерасчётном) теплоснабжении определялась для декабря, января и февраля месяцев (рис. 5.8 – 5.10) при соответственно трёх значениях среднемесячной температуры наружного воздуха, а также для $t_{e.o.} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{e(\min)} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{e(\min)} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

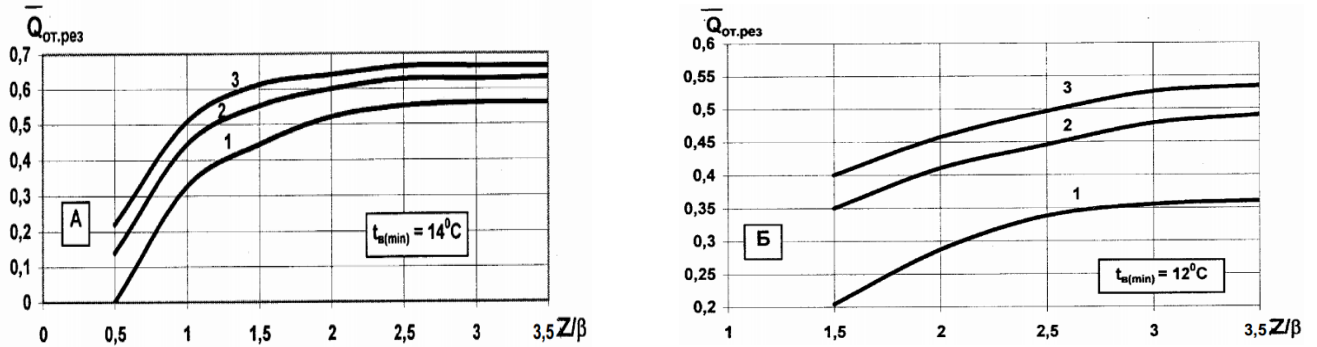


Рис. 5.8 Зависимости относительной резервной теплоотдачи $\bar{Q}_{от.рез.}$ от комплекса $Z_{вос}/\beta$ (времени восстановления теплоснабжения $Z_{вос}$, ч) при снижении температуры воздуха в помещении $t_e = 18^{\circ}\text{C}$ до $t_{e(\min)} = 14^{\circ}\text{C}$ (А) и до 12°C (Б) в декабре месяце для г. Днепропетровска:

- 1 – при $t_n^{мес} = -3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (среднемесячная температура наружного воздуха);
- 2 – при $t_n^{мес} = -2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации и потерь тепла от ветра);
- 3 – при $t_n^{мес} = -0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации)

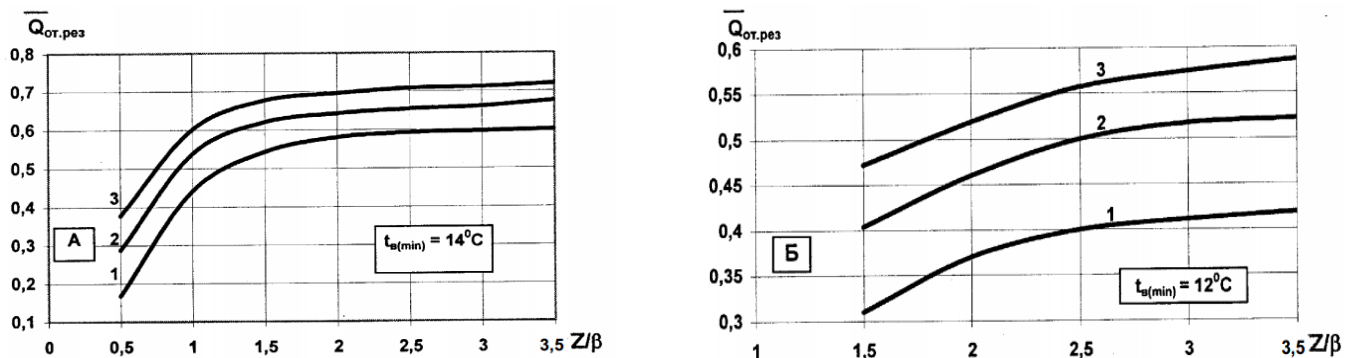


Рис. 5.9 Зависимости относительной резервной теплоотдачи $\bar{Q}_{от.рез.}$ от комплекса $Z_{вос}/\beta$ (времени восстановления теплоснабжения $Z_{вос}$, ч) при снижении температуры воздуха в помещении с $t_e = 18^{\circ}\text{C}$ до $t_{e(\min)} = 14^{\circ}\text{C}$ (А) и до 12°C (Б) в январе месяце для г. Днепропетровска:

- 1 – при $t_n^{мес} = -5,4$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха);
- 2 – при $t_n^{мес} = -3,4$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации и потерь тепла от ветра);
- 3 – при $t_n^{мес} = -1,4$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации)

Анализ полученных графиков свидетельствует о возможности снижения резервной теплоподдачи при учёте воздействия солнечной радиации и ветра, что весьма важно при дефицитном (нерасчётном) теплоснабжении.

В результате проведенных нами исследований было установлено, что при значении параметра $Z_{вос}/\beta = 1,5$ и $t_{e(min)} = 14$ °С, допустимое снижение резервной теплоподдачи составляет: в декабре на 27%; в январе на 13%; в феврале на 29%.

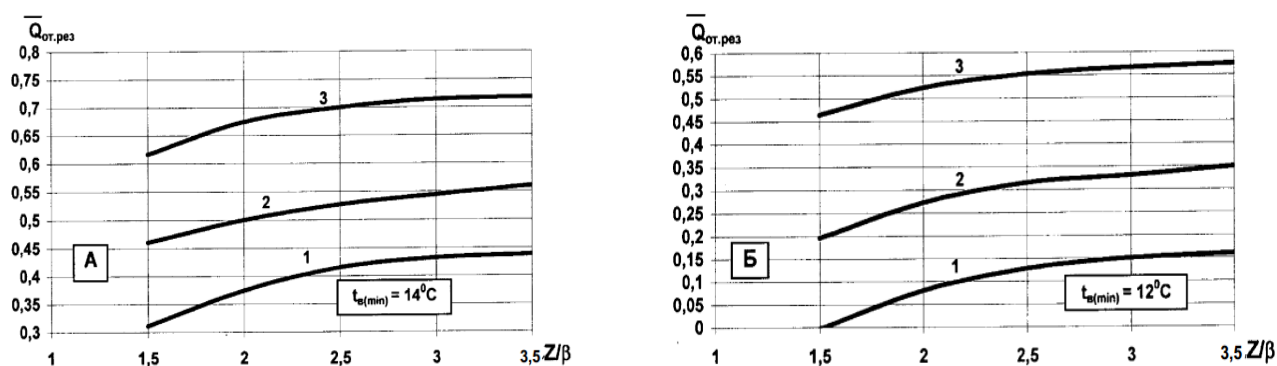


Рис. 5.10 Зависимости относительной резервной теплоотдачи $\bar{Q}_{от.рез.}$ от комплекса $Z_{вос}/\beta$ (времени восстановления теплоснабжения $Z_{вос}$, ч) при снижении температуры воздуха в помещении с $t_e = 18$ °С до $t_{e(min)} = 14$ °С (А) и до 12°С (Б) в феврале месяце для г. Днепропетровска:

- 1 – при $t_n^{мес} = -4,8$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха);
- 2 – при $t_n^{мес} = -0,2$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации и потерь тепла от ветра);
- 3 – при $t_n^{мес} = 2,2$ °С (среднемесячная температура наружного воздуха с учётом добавки тепла от солнечной радиации).

Проведенные исследования позволяют при дефицитах тепловой энергии теплоснабжающим организациям повысить надёжность обеспечения установленной

минимально допустимой температуры внутреннего воздуха в помещениях, а также увеличить период времени, в течение которого эта температура будет поддерживаться.

5.3. Внедрение результатов исследований

В период с мая 2013 г. по апрель 2015 г. на предприятии – торговой комплекс АТБ – была внедрена комплексная система автоматизированного контроля и управления параметрами микроклимата помещений при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения и проведены экспериментальные исследования.

Градостроительной комиссией г. Днепропетровска была поставлена задача проектирования и возведения здания торгового центра типа АТБ, отличающегося от предыдущих по поддержанию и обеспечению оптимальных параметров микроклимата при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения с учетом теплотехнических показателей и энергосбережения. Для выполнения данных условий был выполнен ряд теплотехнических расчетов различных вариантов ограждающих конструкций, учитывающий целый комплекс факторов влияющих на взаимодействие замкнутого пространства помещения с окружающей средой (с учетом полученных результатов в работе):

- кирпичная кладка толщиной 0,56 м, коэффициент теплоусвоения $S = 8,02 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- керамзитобетонная панель толщиной 0,23 м, $S = 3,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- панель типа «сэндвич» с утеплителем из плиточного пенопласта с обшивкой с двух сторон металлическими листами, толщина панели 0,052 м; $S = 0,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

В результате проведенных исследований был выбран и предложен оптимальный вариант обеспечения необходимых параметров микроклимата на рабочих местах торгового комплекса АТБ при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Проведенные расчеты и исследования учитывали изменения теплотехнических характеристик строительных ограждающих конструкций и позволили получить данные процессов теплообмена при эксплуатации зданий и сооружений с учетом влияния окружающей среды, в том числе ветровой и солнечной активности. Для получения

необходимых фактических данных была применена запроектированная и изготовленная специальная система контроля с программным обеспечением (рис. 5.11), дающая возможность оценивать указанные факторы в виде непрерывного постоянного контроля с определением значений основных и косвенных параметров, поступающих непрерывно с датчиков, установленных на ограждающих конструкциях.

Внешние и внутренние тепловые воздействия на тепловой режим зданий в зависимости от характера изменения их параметров можно условно отнести к двум основным типам: периодически повторяющиеся и имеющие разовое проявление.

К первому типу воздействий относятся ежесуточные изменения температуры наружного воздуха, интенсивность солнечной радиации, ветровая активность, теплопоступления от системы отопления, от оборудования, от людей и т.п.

Тепловые воздействия второго типа возникают при аварийных ситуациях в системе теплообеспечения, при экстремальном понижении температуры наружного воздуха, когда имеет место дефицит тепловой энергии на отопление.



Рис. 5.11 Экспериментальная установка системы контроля и подачи тепловой энергии.

Контроль температуры внутреннего воздуха в период охлаждения предусматривает своевременное включение системы резервно-прерывистого отопления при достижении минимального значения температуры.

Предложенная методика позволила определить для выбранного варианта

здания ожидаемую температуру внутреннего воздуха $t_{в}$, которая установится в помещении через время Z после нарушения нормального теплового режима при аварийных отключениях систем теплоснабжения.

При аварийных ситуациях в системах теплоснабжения важное значение приобретает резервное или дефицитное теплоснабжение с сохранением живучести объектов и обеспечения необходимых параметров микроклимата.

Величина резервной теплоотдачи на отопление $Q_{от.рез.}$ определялась, исходя из условия поддержания допустимых тепловых условий в помещениях в пределах времени восстановления работоспособности $Z_{вос}$ отказавшего элемента системы теплообеспечения. Причём, к моменту окончания аварийно-восстановительных работ температура внутреннего воздуха должна соответствовать заданной температуре помещения.

Результаты расчетов приведены в акте внедрения (приложение Н).

С целью формулировки задачи минимизации расхода теплоты, т.е. энергосбережения и увеличения времени поддержания заданных параметров микроклимата при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения, как один из вариантов был также предложен и рассмотрен процесс «прерывистого» режима подачи теплоты.

При управлении расходом теплоты для периода «натопа» было установлено, что максимальная экономия энергии достигается при минимизации времени «натопа» за счет комплексной организации подачи тепла в период «натопа».

Проведены были исследования расхода теплоты в зависимости от схемы организации системы отопления в период «натопа» и теплоаккумуляционных показателей ограждающих конструкций. Было рассмотрено помещение площадью - 24 м², объёмом - 72 м³ с двумя наружными ограждающими конструкциями и окном с двойным остеклением площадью 3 м². При этом рассматривалось три варианта наружных ограждающих конструкций.

В расчете исходными данными были приняты следующие температурные условия: температура наружного воздуха $t_{н} = - 5$ °С; минимальная температура внутреннего воздуха в момент начала «натопа» $t_{мин} = 10$ °С; температура внутреннего воздуха

$t_g = 22\text{ }^\circ\text{C}$; температура внутренней поверхности наружного ограждения $\tau_g = 14\text{ }^\circ\text{C}$.

«Натоп» обеспечивался конвективными тепловыми струями, настилающимися на внутренние поверхности ограждающих конструкций. Интенсивность конвективного теплообмена между воздухом и внутренними поверхностями ограждающих конструкций соответствовала следующим трём значениям коэффициента конвективного теплообмена: $\alpha_1 = 3,5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ - обычный режим конвективного теплообмена; $\alpha_2 = 10,5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ - режим конвективного теплообмена настилающимися струями; $\alpha_3 = 21\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ - режим конвективного теплообмена «интенсивными» настилающимися струями.

Результаты расчёта представлены в табл. 1 акта внедрения (приложение Н).

Экономия теплоты при «натопе» помещения для достижения необходимых параметров микроклимата за счёт увеличения интенсивности конвективного теплообмена в 3 раза по сравнению с базовым вариантом ($\alpha_1 = 3,5\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$) достигает 64-70%, а при увеличении в 6 раз - 88%. При этом, время «натопы» уменьшается в среднем в 3 раза.

Результаты экономии теплоты при «натопе» помещения достигнуты за счёт «правильной» организации системы отопления, то есть нагрев начинался с разогрева теплоёмких ограждающих конструкций, что обеспечило минимизацию времени «натопы».

Проведенные опытно-промышленные испытания позволили при дефицитах тепловой энергии теплоснабжающим организациям повысить надёжность обеспечения установленной минимально допустимой температуры внутреннего воздуха в помещениях, а также увеличить период времени, в течение которого эта температура будет поддерживаться, а с применением резервного отопления не допустить достижения критических температур и увеличить время живучести систем жизнеобеспечения. Применение методики расчета позволило значительно уменьшить потребление тепла. Система позволяет обеспечивать подачу минимально необходимого количества тепла в здание, за счет полученной во времени информации от специальных датчиков, установленных на поверхности ограждающих конструкций зданий и передающих её на ПК, а затем на исполнительный механизм системы, что приводит к

значительной экономии тепла. Так при стоимости на сегодняшний день 1 Гкал тепла 443,83 грн. применение предложенной системы управления и контроля позволило снизить эту стоимость в декабре на 27%, в январе на 13%, в феврале на 29%, а в отопительный период – в среднем на 23%.

5.4. Выводы по разделу 5

1. В результате проведенных исследований установлено, что при оценке условий микроклимата помещений зданий и сооружений необходимо учитывать комплекс факторов влияющих на взаимодействие замкнутого пространства помещения с окружающей средой посредством наружных ограждающих конструкций.

2. Для контроля температуры внутреннего воздуха в период охлаждения и своевременного включения системы резервно-прерывистого отопления при достижении минимальной температуры разработана автоматизированная система контроля и подачи тепловой энергии, которая внедрена на предприятии торгового комплекса АТБ и позволила снизить стоимость тепловой энергии в среднем на 23%.

3. Внедрение результатов исследований по контролю и обеспечению необходимых условий микроклимата помещений на производстве позволили установить зависимости, которые позволяют определить величину относительной резервной теплоподачи $\bar{Q}_{от.рез.}$ и время восстановления нормального теплоснабжения при различной теплоаккумулирующей способности ограждающих конструкций $Z_{вос}/\beta$ зданий и сооружений с учетом обеспечения необходимых параметров микроклимата помещений.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ влияния параметров микроклимата на безопасность жизнедеятельности с учетом теплоустойчивости зданий и сооружений.

2. На основании теоретических исследований проведено обоснование применения датчика с кольцевым и плоским нагревателем для определения теплофизических свойств строительных ограждающих конструкций с несимметричной схемой укладки с одной стороны исследуемого материала.

3. В результате проведенных исследований определены начальные и граничные условия применения датчиков с кольцевым и плоским нагревателем при исследовании теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций зданий. Установлено, что при определении коэффициента теплопроводности строительных материалов в диапазоне $\lambda = 0,2 \div 0,67$ Вт/м·°С с использованием датчика с кольцевым нагревателем погрешность составляет 7% и более; с использованием датчика с плоским нагревателем – погрешность 4%; в диапазоне $\lambda = 0,67 \div 1,2$ Вт/м·°С с использованием датчика с кольцевым нагревателем – погрешность 5%; с использованием датчика с плоским нагревателем – погрешность до 5%; в диапазоне $\lambda = 1,2 \div 2,05$ Вт/м·°С с использованием датчика с кольцевым нагревателем – погрешность до 3%, с использованием датчика с плоским нагревателем – погрешность 8% и более.

4. Впервые проведены исследования теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций в процессе длительной эксплуатации (более 10 лет) для шести типов наиболее распространенных зданий в г. Днепропетровске. В результате проведенных исследований установлено, что в процессе воздействия окружающей среды и климатических условий при длительной эксплуатации в строительных конструкциях вследствие структурных изменений (уплотнение, перестройка минералогического состава, карбонизации, миграции влаги и т.д.) происходят значительные изменения теплотехнических характеристик от первоначальных, что снижает их термическое сопротивление и существенно влияет на обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении.

5. На основе проведенных исследований установлена закономерность изменения

температуры внутреннего воздуха и микроклимата помещений при охлаждении из стационарного режима при отключении системы теплоснабжения для шести типов эксплуатируемых зданий с учетом применяемых ограждающих конструкций.

6. Впервые проведенные исследования позволили установить время достижения критических температур микроклимата и работы инженерных сетей для различных типов зданий при различных коэффициентах теплоаккумуляции при температурах наружного воздуха – холодной пятидневки и месяцев отопительного периода. Данные зависимости являются универсальными и позволяют управлять процессом обеспечения микроклимата помещений и безопасной эксплуатации инженерных коммуникаций.

7. На основе теоретических и экспериментальных исследований были получены зависимости изменения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций, которые позволяют управлять процессом обеспечения параметров микроклимата помещения с учетом типа здания, влияния солнечной радиации и ветра при аварийных ситуациях в системах теплоснабжения.

8. Для контроля температуры внутреннего воздуха в период охлаждения и своевременного включения системы резервно-прерывистого отопления при достижении минимальной температуры разработана автоматизированная система контроля и подачи тепловой энергии, которая внедрена на предприятии (торговый комплекс АТБ) и позволила получить экономический эффект за счет уменьшения энергопотребления в среднем на 23%. Внедрение результатов исследований по контролю и обеспечению необходимых условий микроклимата помещений на производстве позволили установить зависимости, которые позволяют определить величину относительной резервной теплоподдачи и время восстановления нормального теплоснабжения при различной теплоаккумулирующей способности ограждающих конструкций зданий и сооружений с учетом обеспечения необходимых параметров микроклимата помещений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беликов А. С. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии / А. С. Беликов, А. П. Кожушко, В. В. Сафонов. – Днепропетровск : ЧП Федоренко А. А., 2010. – 528 с.
2. Основи охорони праці : підручник / В. Ц. Жидецкий, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. – Вид. 5-е доп. – Львів : Афіша, 2002. – 350 с.
3. Кононович Ю. В. Тепловой режим зданий массовой застройки / Ю. В. Кононович. – Москва : Стройиздат, 1986. – 158 с.
4. Галанин Н. Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение / Н. Ф. Галанин. – Москва : Медгиз, 1969. – 175 с.
5. Мелесова Л. М. Особенности терморегуляции в условиях конвекционного и лучистого обогрева / Л. М. Мелесова // Гигиена и санитария. – 1974. – № 6. – С. 18-21.
6. Данилов М. П. Теплоустойчивость и тепловой режим зданий, инженерных коммуникаций и промышленных объектов / М. П. Данилов, Л. Н. Григорьев, А. В. Мерещук. – Днепропетровск : РИО ПГАСА, 2001. – 122 с.
7. Бабиченко В. Н. Климат Днепропетровска / В. Н. Бабиченко. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1982. – 344 с.
8. Стрежекуров Э. Е. Улучшение безопасности труда рабочих горячих цехов металлургического производства / Э. Е. Стрежекуров, Ю. А. Гасило, Г. В. Дуганов. Деп. Укр. НИИНТИ. 524-УК 89.7.02.89. – 13 с.
9. Ржеганек Я. Снижение теплотерь в зданиях / Я. Ржеганек, А. Яноуш. – М. : Стройиздат, 1988. – 166 с.
10. Дроздов В. Ф. Отопление / В. Ф. Дроздов. – М. : Высшая школа, 1976. – 280 с.
11. Жирнова Г. Е. ИК излучение на производстве и роль спектрального состава, его воздействие на организм человека / Г. Е. Жирнова. – Москва : Госмедиздат, 1955. – 132 с.
12. Жирнова Г. Е. Физиологические сдвиги в организме человека при воздействии длинно- и коротковолновой ИК радиации. Вопросы физиологического труда / Г. Е. Жирнова. – Москва : Госмедиздат, 1955. – 82 с.

13. Богословский В. Н. Энергия окружающей среды и строительное проектирование / В. Н. Богословский. – Москва : Стройиздат, 1983. – 140 с.
14. Левицкий В. А. Проблема лучисто-конвекционной теплоты / В. А. Левицкий // Гигиена труда и техника безопасности. – 1934. – Вып. 6. – С. 22-31.
15. Бромлей М. Ф. Проектирование отопления и вентиляции / М. Ф. Бромлей, В. П. Щеглов. – Москва : Стройиздат, 1972. – 192 с.
16. Закон Украины «Про охорону праці» от 21.11.2002 г.
17. Сафонов В. В. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии / В. В. Сафонов. – Киев : Будівельник, 1976. – 175 с.
18. Калитин Н. Н. Несколько данных о проникновении лучистой энергии в живой организм человека / Н. Н. Калитин // Гигиена, безопасность и патология труда. – 1930. – Вып. 2. – 27 с.
19. Круковский П. Г., Судак О. Ю. Расчетно-экспериментальный подход к анализу теплового состояния и теплопотерь помещений / П. Г. Круковский, О. Ю. Судак // Промышленная теплотехника. – 2001. – № 6. – С. 136-142.
20. Летавет А. А. Исследование по радиационному теплообмену человека с окружающей средой / А. А. Летавет, А. Е. Малышева // Гигиена и санитария. – 1941. – Вып. 4. – 25 с.
21. Стрежекуров Э. Е. Исследование терморadiационной напряженности в горячих цехах металлургического производства / Э. Е. Стрежекуров, С. В. Гашко // Гигиена и санитария. – 1980. – Вып. 9. – С. 62-64.
22. Познанская И. Б. Кожная чувствительность к видимому и ИК облучению / И. Б. Познанская // Физиология жизни СССР. – 1938. – Вып. 4. – С. 474-783.
23. Зайдшнур И. А. Физические факторы внешней среды: материалы по механизму действия на организм человека ИК радиации / И. А. Зайдшнур. – Москва, 1960. – 303 с.
24. Табунщиков Ю. А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации / Ю. А. Табунщиков // АВОК. – 2005. – № 4. – С. 4-7.
25. Шахбазян Г. Х. Гигиена производственного микроклимата / Г. Х. Шахбазян, Ф. М. Шлейман. – Киев, 1977. – 135 с.

26. Маляренко В. А. Энергосберегающий потенциал в жилом фонде города Харькова / В. А. Маляренко, Н. А. Орлова // Интеграционные технологии и энергосбережение. – 2003. – Вып. 4. – С. 36-40.

27. Борхерт Р. Техника инфракрасного нагрева / Р. Борхерт, В. Юбиц. – Москва – Ленинград : Госэнергоиздат, 1963. – 278 с.

28. Грудзинский М. М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М. М. Грудзинский, В. Н. Ливчак, М. Я. Поз. – Москва : Стройиздат, 1982. – 256 с.

29. Гордон Э. В. Изменение в организме при действии лучистой энергии при охлаждении / Э. В. Гордон. – Упр. ин-та Гигиены труда и профзаболеваний, 1940. – Т. 23. – 335 с.

30. Каспаров А. А. Гигиена труда и промышленная санитария / А. А. Каспаров. – Москва : Медицина, 1977. – 384 с.

31. Малышева А. Е. Руководство по гигиене труда / А. Е. Малышева. – Москва : Медицина, 1965. – Т. 1. – 285 с.

32. Бабалов А. Ф. Промышленная теплозащита в металлургии / А. Ф. Бабалов. – Москва : Металлургия, 1971. – 232 с.

33. Воробьева О. В. Защита от тепловых излучений / О. В. Воробьева. – Москва : Металлургия, 1969. – 185 с.

34. Шкловер А. М. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / А. М. Шкловер, В. Ф. Васильев, Ф. В. Ушаков. – Москва : Стройиздат, 1982. – 256 с.

35. Стернзат М. С. Метеорологические приборы и измерения, 2-е изд. перераб. и доп. / М. С. Стернзат. – Москва : Гидрометеиздат, 1978. – 392 с.

36. Геращенко О. А. Тепловые и температурные измерения / О. А. Геращенко, В. Г. Федоров. – Киев : Наукова думка, 1965. – 304 с.

37. Справочник по гигиене труда / под. ред. Е. Д. Карпова, В. Е. Ковшило, 2-е изд. доп. и перераб. – Ленинград : Медицина, 1979. – 448 с.

38. Ключин С. А. Упрощенный метод расчета интенсивности теплового облучения и защитного действия экранов и воздушных душей / С. А. Ключин // Гигиена и санитария. – 1956. – Вып. 12. – С. 24-29.

39. Стрежекуров Э. Е. Графоаналитический метод определения теплового излучения / Э. Е. Стрежекуров, В. Н. Милютин, Ю. А. Гасило и др. Деп. Укр. НИИНТИ. 2025 УК.89., 18.09.89. – 8 с.

40. Гвозденко Л. А. Гигиеническая оценка теплового излучения в современных мартеновских и электросталеплавильных цехах / Л. А. Гвозденко, А. С. Кузина, Э. Е. Стрежекуров, В. С. Волошин // Гигиена труда. – 1984. – Вып. 20. – С. 12-17.

41. Определение эффективности мероприятий по улучшению условий труда. Межотраслевые методические рекомендации. – Москва : НИИ труда, 1979. – 61 с.

42. Количественная оценка тяжести работ. Методические рекомендации. – Москва : НИИ труда, 1977. – 68 с.

43. Типовые внутрисменные режимы труда и отдыха рабочих промышленных предприятий. Межотраслевые рекомендации. – Москва : НИИ труда, 1977. – 75 с.

44. Типовые внутренние режимы труда, отдыха рабочих промышленных предприятий. Межотраслевые методические рекомендации. – Москва : НИИ труда, 1977. – 52 с.

45. Методические рекомендации по применению теплозащитных средств в горячих цехах металлургической промышленности. – Киев : Минздрав УССР, 1983. – 33 с.

46. Губернский Е. Д. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий / Е. Д. Губернский, Е. И. Корневская. – Москва : Медицина, 1978. – 192 с.

47. Дворников В. С. Солнце – жизнь, энергия / В. С. Дворников. – Киев : Наукова думка, 1986. – 112 с.

48. Теплоизоляционные и отделочные полимерные строительные материалы: Сб.тр. // под ред. А. Полуянова. – Москва : ВНИ Стройполимер, 1989. – Вып. 66. – 127 с.

49. Табунщиков Ю. А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю. А. Табунщиков, Д. Ю. Хромец, Ю. А. Матросов. – Москва : Стройиздат, 1986. – 379 с.

50. Исследование отражательной способности теплозащитных материалов. // Астронавтика и ракетодинамика. – 1975. – Вып. 7. – С. 27-42.

51. Steck B., Die Entwicklung der optischen Strahlung (Licht, UV und IR) auf dem Organismus des Menschen.-Fechn. Wiss.Abb.Oszam.les:1973,-s.416-428.Bd.-II.
52. Денисенко Г. И. Возобновляемые источники энергии / Г. И. Денисенко. – Киев : Вища школа, 1983. – 165 с.
53. Черняев Ю. С. Оптические характеристики кожного покрова человека в гигиеническом диапазоне их области спектра / Ю. С. Черняев // Гигиена труда и профзаболевания. – 1967. – Вып. 3. – С. 47-49.
54. Zuchiesh Applications of Germicidal Erythema and infrared Energy. 1946.
55. Куксинская Т. Е. Влияние прерывности теплового облучения на организм человека / Т. Е. Куксинская, В. Б. Либерман // Сб. научных работ институтов охраны труда ВЦСПС. – Москва : Профиздат, 1968. – Вып. 54. – С. 51-57.
56. Лондон Н. Борьба с тепловым облучением на производстве / Н. Лондон. – Москва : Металлургия, 1967. – 40 с.
57. Андерсон Б. Солнечная энергия (Основы строительного проектирования) / Б. Андерсон. – Москва : Стройиздат, 1982. – 353 с.
58. Левицкая М. А. Инфракрасные лучи / М. А. Левицкая. – Москва - Ленинград : Академия наук, 1935. – 136 с.
59. Бабалов А. Ф. Спектральная характеристика промышленных источников тепла / А. Ф. Бабалов, С. В. Петров // ВПИПОТ ВЦСПС. – Тбилиси, 1966. – Вып. 17. – С. 1-7.
60. Стрежекуров Э. Е. Методы исследования условий труда и эффективности теплозащитных средств в горячих цехах металлургической промышленности / Э. Е. Стрежекуров, Е. А. Стрежекурова // Молодежь и технический прогресс. Матер. научн.-техн. конф. – Липецк, 1982. – С. 8-14.
61. Стрежекуров Э. Е. Новый радиометр для измерения лучистого тепла с использованием микро-ЭВМ / Э. Е. Стрежекуров, Ю. А. Гасило, Э. А. Шуваев // Совершенствование исследований в области охраны труда в вузах страны. – Москва : МАТИ, 1990. – С. 28-33.
62. Паспортизация горячих цехов промышленных предприятий / Э. Е. Стрежекуров, В. П. Крамной, П. П. Харченко, Б. Ф. Печерский // Инф. листок №91-147. ЗЦНТИ. – Запорожье, 1991. – 11 с.

63. Шилькрот Е. Микроклимат в жилых, общественных и производственных помещениях / Е. Шилькрот, Ю. Табунщиков // Строительная газета. – 2003. – № 52. – С. 6.
64. Стрежекуров Э. Е. Теплозащитный экран / Э. Е. Стрежекуров, Ю. А. Гасило // Инф. листок №88-062. ЗЦНТИ. – Запорожье, 1988. – 5 с.
65. Шкловер А. М. Основы строительной теплотехники жилых и общественных зданий / А. М. Шкловер, В. Ф. Васильев, Ф. В. Ушков. – Москва : Стройиздат, 1956. – 350 с.
66. Стрежекуров Э. Е. Особенности исследования терморadiационной напряженности в металлургических цехах / Э. Е. Стрежекуров, С. В. Гашко // Гигиена труда и профзаболеваний. – Москва, 1981. – Вып. 5. – С. 45-51.
67. Calle R.I. The longwaze radiation incideht upon the external Surface of Luillings.-Build. Serw Eng. 1976. – № 9. – P. 195-206.
68. Гасило Ю. А. Синтез и организация самостоятельной работы студентов в учебной работе и научной деятельности кафедры по вопросам исследований условий труда в горячих цехах / Ю. А. Гасило, Э. Е. Стрежекуров // Поиск-89. Матер. тез. докладов 1 научн.-метод. семинара. – Москва, 1989. – С. 4-8.
69. Агаркова А. М. Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации теплиц / А. М. Агаркова, Г. Г. Шишко. – Киев : Будівельник, 1985. – 120 с.
70. Исследование терморadiационной напряженности на рабочих местах и разработка рекомендаций по улучшению условий труда. Тема 913/89. Госрегистрация №0189.0048968 Зак. «Моторостроитель».
71. Фэнгер Р. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей / Р. Фэнгер // АВОК. – 2003. – № 4. – С. 12-18.
72. Сарнацкий Э. В. Использование солнечной энергии для теплоснабжения зданий / Э. В. Сарнацкий. – Киев : Будівельник, 1985. – 104 с.
73. Марголин И. А. Основы инфракрасной техники / И. А. Марголин, Н. Н. Румянцев. – Москва : Воениздат, 1957. – 308 с.
74. Поскачей А. А. Оптико-электронные системы измерения температуры / А. А. Поскачей, Е. П. Губарев. – Москва : Энергия, 1979. – 208 с.

75. Методические рекомендации по определению облученности рабочих мест световым моделированием. ВНИИОТ ВЦСПС. – Тбилиси, 1978. – 9 с.

76. Зиберт В. Определение отражательной способности строительных материалов. / В. Зиберт // Техническая физика. – 1941. – С. 48-55.

77. Академия наук УССР. Ордена трудового красного знамени институт проблем материаловедения. НПО. Термоприбор, датчики для измерения температуры в промышленности. – Киев : Наукова думка, 1972.

78. Беликов А. С. Нормирование теплового излучения на рабочих местах / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов, Ю. Ф. Стаценко // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 49. – С. 183-187.

79. Беликов А. С. Методика оценки эффективности работы огнезащитных покрытий / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, Л. В. Дранишников, Г. Г. Капленко // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 52. – Ч. 1. – С. 5-12.

80. Беликов А. С. Некоторые аспекты оптимизации исследования условий труда по микроклимату в промышленной индустрии / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, В. Д. Акиншин // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 52. – Ч. 2. – С. 3-9.

81. Беліков А. С. Теоретичні дослідження інтенсивності енергетичної освітленості робочого виробництва / А. С. Беліков, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: зб. наук. пр. – Макіївка, 2010. – Т. 2. – С. 406-411.

82. Зайдшнур Н. А. Измерение времени зрительного ощущения под влиянием лучистой энергии различными длинами волн. Вопросы гигиены труда и профзаболеваний / Н. А. Зайдшнур. – Москва : Академия наук СССР, 1948. – 77 с.

83. Линеверг. Измерение температур в технике: Справочник / Пер. с нем. – Москва : Металлургия, 1980. – 544 с.

84. Геращенко О. А. Основы теплотрии / О. А. Геращенко. – Киев : Наукова думка, 1971. – 192 с.

85. Куритник И. П. Термоизмерения / И. П. Куритник, Б. И. Стадник // Радиоэлектроника и связь. – Вып. 7. – 74 с.

86. Стрежекуров Э. Е. Новый прибор / Э. Е. Стрежекуров // Пожарное дело. – Вып. 9. – С.27.
87. А.с. №1190686. Стрежекуров Э. Е., Стрежекурова Е. А. Устройство для измерения теплового потока.
88. Бурцев С. И. Тепловой и газовый комфорт с учетом индивидуальных особенностей человека / С. И. Бурцев, Ю. Н. Цветков // Теплоэнергоэффективные технологии. Информационный бюллетень. – 2002. – Вып. 1. – С. 19-24.
89. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Москва : Энергия, 1975. – 488 с.
90. А.с. №1613881 Стрежекуров Э. Е., Белых К. Д., Тихонцов А. М., Смаль Н. М., Стрежекурова Е. А. Устройство для измерения температур.
91. Рагимов С. Ю. Разработка универсальных номограмм для оценки интенсивности теплового облучения на рабочих местах / С. Ю. Рагимов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: Сучасні будівельні матеріали, конструкції та інноваційні технології зведення будівель та споруд. – Макіївка, 2010. – Вип. 5 (85). – С. 406-411.
92. Табунщиков Ю. А. Минимизация затрат энергии при прерывистом режиме отопления / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач // АВОК. – 2001. – Вып. 3. – С. 58-63.
93. Беликов А. С. К вопросу теоретических исследований интенсивности энергетической освещенности термических участков производства / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, А. М. Кравчук // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 8. – С. 21-27.
94. Беликов А. С. Моделирование изменения энергетической освещенности источников высокотемпературного излучения / А. С. Беликов, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 8. – С. 50-54.
95. А.с. №1286995. Устройство для измерения отражательной способности материалов / Э. Е. Стрежекуров, Е. А. Стрежекурова, Ю. А. Гасило, С. Н. Долгов. 1999. Бюл.
96. Андрианов В. Н. Основы радиационного и сложного теплообмена / В. Н. Андрианов. – Москва : Энергия, 1972. – 464 с.

97. Табунщиков Ю. А. Минимизация расхода энергии, затрачиваемой на натоп помещения / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1988. – Вып. 12. – С. 44-49.

98. Пат. На корисну модель 64884 Україна, МПК F21V 11/00. Приймальний пристрій для енергетичних вимірювань / А. С. Беліков, Г. Г. Капленко, С. Ю. Рагімов; заявник і патентоволодар Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (Україна). – №u201104118; заявл. 05.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл.№22.

99. Егоров Б. Н. Комплексное определение теплофизических свойств твердых материалов импульсно-адиабатическим методом / Б. Н. Егоров, В. С. Килессо // Теплофизические свойства твердых тел. – Киев : Наукова думка, 1971. – С. 65-71.

100. Пат. 117106 РФ, МКИ G 01 N 25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических характеристик материалов / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова, Э. В. Сысоев. заявл. 04.08.97; опубл. 26.12.2000.

101. Круковский П. Г. Расчетно-экспериментальный подход к анализу теплового состояния и теплопотерь помещений / П. Г. Круковский, О. Ю. Судак // Промышленная теплотехника. – 2001. – Вып. 6, Т. 23. – С. 136-142.

102. Разработка и изготовление устройства для измерения характеристик теплового излучения Тема 399/87. Госрегистрация №0187.0069976 Зак. ИВНИИПИК.

103. Методические рекомендации по определению теплотехнических показателей ограждающих конструкций в лабораторных условиях / НИИСК. – Киев, 1982. – 25 с.

104. Кощеев В. С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода / В. С. Кощеев. – Москва : Медицина, 1981. – 315 с.

105. Фенгер Р. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: в поисках совершенства / Р. Фэнгер // АВОК. – 2000. – Вып. 2. – С. 14-20.

106. Маляренко В. А. Модернизация ограждающих конструкций зданий с учетом современных требований к энергосбережению / В. А. Маляренко,

Н. А. Орлова // Коммунальное хозяйство городов. – Киев : Техника, 2003. – Вып. 49 – С. 300-307.

107. Сафонов В. В. Методика обследования условий труда на рабочих местах с избыточным тепловым излучением / В. В. Сафонов, Э. Е. Стрежекуров // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. – Дніпропетровськ, 2001. – Вип. 13. – С. 96.

108. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники / Л. З. Криксунов. – Москва: Советское радио, 1978. – 400 с.

109. Анапольская Л. Е. Метеорологические факторы теплового режима зданий / Л. Е. Анапольская. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1973. – 280 с.

110. Баталов В. С. Одновременное определение теплофизических параметров твердофазовых веществ / В. С. Баталов // ИФЖ. – 1982. – № 6. – С. 1026-1027.

111. Афанасьев В. Н. Имитационная модель датчика температуры для измерительных информационных систем / В. Н. Афанасьев, Д. Ф. Тартаковский // Теоретические и прикладные исследования в области систем измерений. – Львов: Вища школа, 1987. – С. 81-85.

112. Азизов А. М. Точность измерительных преобразователей / А. М. Азизов, А. Н. Гордов. – Ленинград : Энергия, 1975. – 256 с.

113. Дуганов Г. В. Новый теплофизический прибор ТПМ / Г. В. Дуганов, В. Л. Чистяков, Э. Е. Стрежекуров // Приборостроение. – Киев, 1973. – Вып. 13. – С.17-21.

114. Стрежекуров Э. Е. Приборы для контроля избыточного теплоизлучения. / Э. Е. Стрежекуров // Экспресс-информация ВЦНИИОТ ВЦСПС. Охрана труда. – 1984. – Вып. 9-10.– С. 2-4.

115. Беляев Ю. И. Теплофизические приборы системы КБ «Теплофон» / Ю. И. Беляев, Д. П. Вент, Басам Двигат // Вестник МАСИ. Информатика, экология, экономика. – 1992. – Вып.10. – С. 47-49.

116. Кутателадзе С. С. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1958. – 414 с.

117. Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов теплообмена / А. А. Гухман. – Москва : Высшая школа, 1967. – 303 с.

118. Аметистов Е. В. Основы теории теплообмена / Е. В. Аметистов. – Москва : МЭИ, 2000. – 242 с.
119. Топорец А. С. Отражение света шероховатой поверхностью / А. С. Топорец // Оптико-мех. пром. – 1979. – № 1. – С. 34-46.
120. Богуславский Л. Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления и вентиляции / Л. Д. Богуславский. – Москва : Стройиздат, 1985. – 215 с.
121. Hрensei D., Gaston A. Dieffuse and specular of reflectance; Why and how. - H.Nlum Eng. Inst 1978, 7, №4, s/240-245. Discus, P. 246-248.
122. Гасило Ю. А. Новая научно-обоснованная методика разработки и исследования эффективности теплозащитных обмазок и покрытий / Ю. А. Гасило, К. Д. Белых, Э. Е. Стрежекуров // Матер. тез. НТК. – Севастополь. – 1991. – С. 3-7.
123. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 360 с.
124. Космическая оптика: труды IX международного конгресса международной комиссии по оптике / Пер. с англ. А. В. Фролова // под ред. В. К. Аблекова. – Москва : Машиностроение, 1980. – 536 с.
125. Гершкович В. Ф. Плесень на стенах. Германский урок / В. Ф. Гершкович // Энергосбережение в зданиях. – 1998. – №2. – С. 16-19.
126. Беліков А. С. Обеспечение безопасных условий жизнедеятельности на рабочих местах с избыточным теплоизлучением / А. С. Беліков, С. Ю. Рагимов, В. А. Шаломов // Безпека життєдіяльності як умова сталого розвитку сучасного суспільства: наук.-техн.. – Київ: Основа. – 2011. – С. 126-132.
127. Гасило Ю. А. Новые теплозащитные материалы и методика определения их эффективности / Ю. А. Гасило, Э. Е. Стрежекуров, Г. В. Дуганов // 11 научн.-техн. семинар по проблемам охраны труда и окружающей среды. – 1987. – С. 15-19.
128. Шубин Л. И. Современные возможности тепловизионного контроля зданий / Л. И. Шубин // АВОК. – 2005. – № 4. – С. 108-111.
129. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – Москва : Стройиздат, 1984. – 103 с.
130. Ливчак В. И. Экспертиза энергоэффективности строительства зданий / В. И. Ливчак // АВОК. – 2004. – № 7. – С. 6-8.

131. Курепин В. В. Определение теплофизических характеристик методом мгновенного теплового импульса при учете влияния контактных термических сопротивлений / В. В. Курепин, А. И. Дикалов // ИФЖ. – 1981. – № 6. – С. 1046.

132. Буравой С. Е. Установка для измерения истинной теплоемкости жаростойких материалов в режиме охлаждения / С. Е. Буравой, Е. С. Платунов // Теплофизика высоких температур. – 1966. – № 3. – С. 459-462.

133. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова. – Москва : Энергия, 1979. – 319 с.

134. Падерин Л. Я. Расчетное исследование погрешностей контактного метода измерения температур поверхностей неметаллических материалов в условиях лучистого теплообмена / Л. Я. Падерин // Теплофизика высоких температур. – 1981. – № 6. – С. 1277-1284.

135. Hennecke, D.K. Local heat sink on a convectively cooled surface application to temperature measurement error / D.K. Hennecke, E.M. Sparrow // Yintern. J. Heat. Mass Transfer.- 1970.- Vol.13, N2.- P. 15-21.

136. Блох А. Г. Основы теплообмена излучением / А. Г. Блох. – Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1962. – 330 с.

137. Видин Ю. В. Расчет температурных полей в твердых телах, нагреваемых конвекцией и радиацией одновременно / Ю. В. Видин, В. В. Иванов. – Красноярск, 1965. – 95 с.

138. Чистович А. С. Экологическая оценка степени централизации-децентрализации теплоснабжения при сжигании газа / А. С. Чистович // Теплоэнергоэффективные технологии. Инф. Бюл. – 2003. – №3. – С. 30-36.

139. Сантоли Л., Гиудике Г. Энергетическая сертификация зданий. Упрощенные процедуры и методики. Опыт стран Европы / Л. Сантоли, Г. Гиудике // АВОК. – 2004. – № 1. – С. 74-76.

140. Хоменко В. П. Справочник по теплозащите зданий / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк. – Киев : Будівельник, 1986. – 216 с.

141. Дуганов Г. В. Новые приборы, применяемые для измерения теплофизических характеристик горных пород / Г. В. Дуганов, В. Л. Чистяков, Э. Е. Стрежекуров // Приборостроение. – Киев, 1972. – Вып.12. – С. 3-5.

142. А.с. №1419277. Радиометр для измерения тепловых потоков / Э. Е. Стрежекуров, В. Н. Милютин, В. П. Китаев, С. Н. Долгов. 1990. Бюл. № 5.
143. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва : Высшая школа, 1967. – 599с.
144. Чернышов В. Н. Анализ и синтез измерительных систем / В. Н. Чернышов. – Тамбов : ТГТУ, 1995. – 234 с.
145. А.с. №1381379. СССР, МКИ G01N25/18. Способ комплексного определения теплофизических характеристик материалов и устройств для его осуществления / В. Н. Чернышов и др. 1988. Бюл. № 10.
146. Елисеев В. Н. Теоретическое и экспериментальное исследование погрешности измерения температур термометрами в теплоизоляционных материалах / В. Н. Елисеев, В. А. Соловов // Инженерно-физический журнал. – 1983. – № 5. – С. 737-742.
147. Гусева Л. И. Комплексные исследования теплофизических характеристик теплоизоляционно-теплозащитных материалов длительного и многоразового применения: Автореф. дис. канд.техн.наук. – Москва, 1981. – 20с.
148. Стрежекуров Э. Е. Комплекс новых приборов для исследования и контроля непроизводительных потерь избыточного теплового излучения и определение эффективности теплозащитных материалов / Э. Е. Стрежекуров // Инф. листок №91-218. ЗЦНТИ. – Запорожье, 1991. – С. 5-8.
149. Стрежекуров Э. Е. Прибор для оценки отражающей способности ИК-излучения различных материалов / Э. Е. Стрежекуров, С. Н. Долгов, В. П. Китаев // НТК Новое в технологии искусственных кож и пленочных материалов. – Иваново, 1990. – С. 45-49.
150. Чесанов Л. Г. Внутренняя среда помещений: эколого-гигиенические аспекты: Учебное пособие для вузов / Л. Г. Чесанов, А. Г. Шапарь, А. И. Кораблева, В. Л. Чесанов, В. В. Воробьев. – Днепропетровск: Днепрост, 2004. – 168 с.
151. Маляренко В. А. Теплофизика ограждающих конструкций зданий и энергосбережение / В. А. Маляренко // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2002. – № 4. – С. 14-19.

152. Стрежекуров Э. Е. Комплексное решение задач теплозащиты рабочих мест и охраны окружающей среды от теплового загрязнения / Э. Е. Стрежекуров // Приборы для экологии - 92. – Ужгород, 1992. – С. 48-52.

153. Мищенко С. В. Метод неразрушающего контроля при исследовании температурной зависимости теплофизических характеристик массивных образцов / С. В. Мищенко, А. А. Чуриков, В. Е. Подольский // Вестник ТГТУ. – 1995. – № 3-4. – С. 246-254.

154. Власов В. В. Теплофизические измерения: Справочное пособие по методам расчета полей, характеристик тепломассопереноса и автоматизации измерений / В. В. Власов. – Тамбов, 1975. – 125 с.

155. Геращенко О. А. Температурные измерения: Справочник / О. А. Геращенко, А. Н. Гордов, В. И. Лах. – Киев : Наукова думка, 1984. – 496 с.

156. Стрежекуров Э. Е. Использование теплозащитных полимерных материалов для защиты технологического оборудования и людей от избыточного солнечного излучения / Э. Е. Стрежекуров, Г. Н. Крикунов, В. В. Сафонов // Сб. тез и докл. ПГАСА. – Днепропетровск, 1994. – С. 56-62.

157. Стрежекуров Э. Е. Использование полимерных материалов для защиты строительного оборудования и людей от избыточного теплового излучения / Э. Е. Стрежекуров, Г. Н. Крикунов, В. В. Сафонов // Сб.труд. ДГТУ. – Днепропетровск, 1996. – С. 18-24.

158. Стрежекуров Э. Е. Прибор ТПИ-1 для определения эффективности теплозащитных средств и материалов. Инф. листок Серия 1305.05 №81-47. ЗЦНТИ. – Запорожье, 1981. – 4с.

159. Колесник И. А. Теплоустойчивость зданий в экосистеме «окружающая среда – здание – человек» (аварийно-дефицитные тепловые режимы, гелио- и ветровые аспекты) / И. А. Колесник, М. П. Данилов, И. Л. Ветвицкий, Л. Г. Чесанов. – Днепропетровск: Поліграфіст, 2004. – 264 с.

160. Колесник І. О. Покращення параметрів мікроклімату внаслідок використання новітніх конструктивно-технологічних рішень / І. О. Колесник, К. Б. Дікарев, І. Л. Ветвицький, О. М. Кузьменко // Строительство,

материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2014. – Вып.76. – С. 106-110.

161. Колесник И. А. Пути повышения микроклиматических параметров в помещении при его теплодефицитном отоплении / И. А. Колесник, А. С. Беликов, Э. Е. Стрежекуров // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2019. – Вып.49. – С. 44-46.

162. Колесник И. А. Влияние окружающей среды на параметры внутреннего воздуха помещений в отопительный период / И. А. Колесник, А. С. Беликов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2009. – Вып.49. – С. 112-.114.

163. Колесник И. А. Исследование влияния теплопроводных включений на параметры микроклимата помещений при отключении системы отопления / И. А. Колесник, И. Л. Ветвицкий, В. Ю. Каспийцева, А. А. Шевченко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – Вып.70. – С. 65-69.

164. Колесник И. А. Теплофизические и энергетические аспекты при реконструкции (санации) ограждений зданий / И. А. Колесник, И. Л. Ветвицкий, В. Ю. Каспийцева, А. А. Шевченко // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – Вып.70. – С. 70-78.

165. Колесник И. А. Влияние теплопроводных включений при отключении системы отопления на микроклимат в помещении / И. А. Колесник, И. Л. Ветвицкий, А. А. Шевченко // Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України». – Запоріжжя, 2012. – С. 141-142.

166. Колесник И. А. Особенности аварийных ситуаций в системах теплогазоснабжения зданий / И. А. Колесник, М. П. Данилов, И. Л. Ветвицкий // Материалы V международного симпозиума «Безопасность жизнедеятельности в XXI веке». – Днепропетровск, 2005. – С.39-40.

167. Колесник И. А. К вопросу оценки надежности теплоснабжения, обеспечивающего санитарно-гигиенические требования в жилых помещениях / И. А. Колесник, А. И. Федоренко, С. З. Полищук, В. А. Долодаренко // Матеріали

VII Міжнародної XIII Традиційної науково-практичної конференції за участю молодих вчених «Екологічний інтелект – 2012» присвяченої пам'яті професора Плахотника В. М. – Дніпропетровськ, 2012. – С.69-71.

168. Колесник И. А. К вопросу о рекомендациях по утеплению резервуаров для хранения жидких удобрений / И. А. Колесник, И. Л. Ветвицкий, К. Б. Дикарев, Л. В. Кислица, // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання сучасної аграрної науки». – Умань, 2013. – С. 146-147.

169. Колесник И. А. Влияние солнечной радиации и ветра на параметры микроклимата помещений в Днепропетровском регионе / И. А. Колесник, И. Л. Ветвицкий, В. Ю. Каспийцева, Б. А. Мартиненко // Міжнародна наукова конференція «Математичні проблеми технічної механіки 2015». – Дніпродзержинськ, 2015. – С. 119.

170. Колесник И. А. Исследование динамики охлаждения внутренней поверхности ограждений при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра» / И. А. Колесник, И. Л. Ветвицкий, В. Ю. Каспийцева, Б. А. Мартиненко //Тезисы докладов Международного научного симпозиума «Неделя эколога – 2015». – Днепродзержинск, 2015. – С.226-228.

171. Колесник И. А. Теоретические исследования по разработке и применению датчиков с кольцевым нагревателем для определения теплотехнических свойств ограждающих конструкций / И. А. Колесник, А. С. Беликов, // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2015. – № 3. – С 20-26.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки
для 6 типов зданий при отключении системы теплоснабжения.

I тип $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 17.5$
 $a[1] = -2.385$
 $a[2] = 0.185625$
 $a[3] = -0.00875$
 $a[4] = 0.0001563$

Сумма квадратов отклонений = 5.55130E-0027

I тип $\rho_o = 864 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.2$
 $a[1] = -3.0271111$
 $a[2] = 0.2087037$
 $a[3] = -0.0075617$
 $a[4] = 0.0001008$

Сумма квадратов отклонений = 1.41836E-0025

I тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 13.3$
 $a[1] = -2.5813333$
 $a[2] = 0.1730972$
 $a[3] = -0.0064421$
 $a[4] = 0.0000934$

Сумма квадратов отклонений = 6.59269E-0026

I тип $\rho_{\vartheta} = 2124 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 11$
 $a[1] = -2.4744444$
 $a[2] = 0.1133333$
 $a[3] = -0.0020988$
 $a[4] = 2.30141E-0017$

Сумма квадратов отклонений = 9.73162E-0027

II тип $\rho_o = 1000 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 17.5$
 $a[1] = -1.816875$
 $a[2] = 0.1476562$
 $a[3] = -0.0067187$
 $a[4] = 0.0001172$

Сумма квадратов отклонений = 1.51154E-0026

II тип $\rho_{\vartheta} = 1020 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.2$
 $a[1] = -2.352$
 $a[2] = 0.2014444$
 $a[3] = -0.0090741$
 $a[4] = 0.0001512$

Сумма квадратов отклонений = $1.53207E-0026$

II тип $\rho_o = 1600 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.6$
 $a[1] = -1.8549444$
 $a[2] = 0.1161574$
 $a[3] = -0.0038719$
 $a[4] = 0.0000496$

Сумма квадратов отклонений = $1.63883E-0026$

II тип $\rho_9 = 1651 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.4$
 $a[1] = -2.1706667$
 $a[2] = 0.1817778$
 $a[3] = -0.0081481$
 $a[4] = 0.0001358$

Сумма квадратов отклонений = $1.14268E-0026$

III тип $\rho_o = 2500 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 5.5$
 $a[1] = -3.598125$
 $a[2] = 0.3005035$
 $a[3] = -0.0135243$
 $a[4] = 0.0002291$

Сумма квадратов отклонений = 2.43103E-0026

III тип $\rho_o = 2688 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 3.9$
 $a[1] = -3.766$
 $a[2] = 0.2883032$
 $a[3] = -0.011831$
 $a[4] = 0.0001903$

Сумма квадратов отклонений = 4.42032E-0026

IV тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.1$
 $a[1] = -1.3847917$
 $a[2] = 0.1054433$
 $a[3] = -0.004978$
 $a[4] = 0.000088$

Сумма квадратов отклонений = 9.78661E-0027

IV тип $\rho_o = 1865 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 14.4$

$$a[1] = -1.8388333$$

$$a[2] = 0.1419815$$

$$a[3] = -0.0060602$$

$$a[4] = 0.0000962$$

Сумма квадратов отклонений = 9.05788E-0027

V тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.5$

$$a[1] = -1.8340972$$

$$a[2] = 0.1706655$$

$$a[3] = -0.0087635$$

$$a[4] = 0.0001609$$

Сумма квадратов отклонений = 1.61214E-0026

V тип $\rho_o = 1930 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 14.2$

$$\begin{aligned} a[1] &= -2.1441667 \\ a[2] &= 0.205375 \\ a[3] &= -0.0101898 \\ a[4] &= 0.0001794 \end{aligned}$$

Сумма квадратов отклонений = 1.65696E-0026

VI тип $\rho_o = 2400 \text{ кг/м}^3$ (начало эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 6.3$

$$\begin{aligned} a[1] &= -1.5626667 \\ a[2] &= 0.1186921 \\ a[3] &= -0.0054259 \\ a[4] &= 0.0000942 \end{aligned}$$

Сумма квадратов отклонений = 3.14602E-0027

VI тип $\rho_o = 2573 \text{ кг/м}^3$ (после 10 лет эксплуатации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 4.3$

$$\begin{aligned} a[1] &= -1.740375 \\ a[2] &= 0.1469271 \\ a[3] &= -0.0072674 \\ a[4] &= 0.0001317 \end{aligned}$$

Сумма квадратов отклонений = 3.56851E-0026

Приложение Б

Зависимости динамики охлаждения внутреннего воздуха помещения, градиента температур внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции для 6 типов зданий при выходе из стационарного состояния

I тип $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -1.7907345$
 $a[2] = 0.0369959$
 $a[3] = -0.0004782$
 $a[4] = 0.0000033$

Сумма квадратов отклонений = 1.66089E-0026

I тип $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 3.5$
 $a[1] = 1.1772513$
 $a[2] = -0.1728478$
 $a[3] = 0.0075985$
 $a[4] = -0.000111$

Сумма квадратов отклонений = 6.69672E-0027

I тип $\rho_o = 864 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -1.6532023$
 $a[2] = 0.0315768$

$$a[3] = -0.0003801$$

$$a[4] = 0.0000025$$

Сумма квадратов отклонений = 4.37329E-0026

I тип $\rho_o = 864 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 3.8$

$$a[1] = 1.3739089$$

$$a[2] = -0.1771269$$

$$a[3] = 0.0071816$$

$$a[4] = -0.0000983$$

Сумма квадратов отклонений = 6.33869E-0027

I тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$

$$a[1] = -0.7962757$$

$$a[2] = 0.0073659$$

$$a[3] = -0.0000447$$

$$a[4] = 1.68953E-0007$$

Сумма квадратов отклонений = 6.44357E-0026

I тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 8.7$

$$a[1] = 1.7666965$$

$$a[2] = -0.1426965$$

$$a[3] = 0.0049839$$

$$a[4] = -0.000066$$

Сумма квадратов отклонений = 2.55591E-0027

I тип $\rho_{\text{в}}$ = 2124 кг/м³ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 20

a[1] = -0.6718658

a[2] = 0.0052458

a[3] = -0.000027

a[4] = 8.85867E-0008

Сумма квадратов отклонений = 5.78156E-0027

I тип $\rho_{\text{в}}$ = 2124 кг/м³ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 9

a[1] = 1.8025787

a[2] = -0.1080875

a[3] = 0.0020718

a[4] = 8.85738E-0008

Сумма квадратов отклонений = 4.54763E-0025

II тип $\rho_{\text{о}}$ = 1000 кг/м³ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 20

a[1] = -1.3028191

a[2] = 0.0196684

a[3] = -0.0001905

a[4] = 0.0000011

Сумма квадратов отклонений = 5.93716E-0027

II тип $\rho_o = 1000 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 3.6$
 $a[1] = 0.5905701$
 $a[2] = -0.0988965$
 $a[3] = 0.0037617$
 $a[4] = -0.0000496$

Сумма квадратов отклонений = 2.08508E-0026

II тип $\rho_o = 1020 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -1.2645219$
 $a[2] = 0.0185338$
 $a[3] = -0.0001746$
 $a[4] = 9.46881E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 9.03034E-0027

II тип $\rho_o = 1020 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 3.8$
 $a[1] = 1.0874778$
 $a[2] = -0.1829105$
 $a[3] = 0.0088995$
 $a[4] = -0.0001503$

Сумма квадратов отклонений = 3.86498E-0027

II тип $\rho_o = 1600 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.8112989$
 $a[2] = 0.0076463$
 $a[3] = -0.0000472$
 $a[4] = 1.81523E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 1.67467E-0026

II тип $\rho_o = 1600 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 4.4$
 $a[1] = 1.0436458$
 $a[2] = -0.1085112$
 $a[3] = 0.0038247$
 $a[4] = -0.0000495$

Сумма квадратов отклонений = 8.44870E-0028

II тип $\rho_o = 1651 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.7817996$
 $a[2] = 0.007101$
 $a[3] = -0.0000423$
 $a[4] = 1.57732E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 2.80882E-0026

II тип $\rho_o = 1651 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 4.6$
 $a[1] = 1.388867$
 $a[2] = -0.1746768$
 $a[3] = 0.0081058$
 $a[4] = -0.0001356$

Сумма квадратов отклонений = 5.48740E-0026

III тип $\rho_o = 2500 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.5733292$
 $a[2] = 0.0038208$
 $a[3] = -0.0000168$
 $a[4] = 4.83089E-0008$

Сумма квадратов отклонений = 4.32075E-0026

III тип $\rho_o = 2500 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.9000008$
 $a[1] = 6.49289E+0006$
 $a[2] = -1.89376E+0006$
 $a[3] = 157813.1162505$
 $a[4] = -3757.4550508$

Сумма квадратов отклонений = 3.02917E-0011

III тип $\rho_o = 2688 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.537497$
 $a[2] = 0.0033583$
 $a[3] = -0.0000139$
 $a[4] = 3.77283E-0008$

Сумма квадратов отклонений = 3.56597E-0026

III тип $\rho_o = 2688 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.1$
 $a[1] = 3.228503$
 $a[2] = -0.2849449$
 $a[3] = 0.0118171$
 $a[4] = -0.0001902$

Сумма квадратов отклонений = 3.16340E-0025

IV тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.7166543$
 $a[2] = 0.0059679$
 $a[3] = -0.0000327$
 $a[4] = 1.13297E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 8.05025E-0026

IV тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 5.3$
 $a[1] = 1.0060261$
 $a[2] = -0.1218804$
 $a[3] = 0.0053489$
 $a[4] = -0.0000847$

Сумма квадратов отклонений = 3.11726E-0026

IV тип $\rho_o = 1865 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.693538$
 $a[2] = 0.0055895$
 $a[3] = -0.0000296$
 $a[4] = 1.00076E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 3.48519E-0026

IV тип $\rho_o = 1865 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 5.6$
 $a[1] = 1.1452953$
 $a[2] = -0.136392$
 $a[3] = 0.0060305$
 $a[4] = -0.0000961$

Сумма квадратов отклонений = 1.57188E-0026

V тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.7166543$
 $a[2] = 0.0059679$
 $a[3] = -0.0000327$
 $a[4] = 1.13297\text{E-}0007$

Сумма квадратов отклонений = $8.05025\text{E-}0026$

V тип $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 5.6$
 $a[1] = 1.1793177$
 $a[2] = -0.1702103$
 $a[3] = 0.008769$
 $a[4] = -0.0001562$

Сумма квадратов отклонений = $2.24115\text{E-}0027$

V тип $\rho_o = 1930 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.6718661$
 $a[2] = 0.0052459$
 $a[3] = -0.000027$
 $a[4] = 8.86712\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = $5.83442\text{E-}0027$

V тип $\rho_o = 1930 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 5.8$
 $a[1] = 1.4723006$
 $a[2] = -0.2001291$
 $a[3] = 0.0101628$
 $a[4] = -0.0001793$

Сумма квадратов отклонений = 1.27362E-0026

VI тип $\rho_o = 2400 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.7166543$
 $a[2] = 0.0059679$
 $a[3] = -0.0000327$
 $a[4] = 1.13297E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 8.05025E-0026

VI тип $\rho_o = 2400 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.4$
 $a[1] = 1.0779497$
 $a[2] = -0.1367294$
 $a[3] = 0.0071153$
 $a[4] = -0.000133$

Сумма квадратов отклонений = 4.63535E-0027

VI тип $\rho_{\text{в}} = 2573 \text{ кг/м}^3$ (охлаждения внутреннего воздуха помещения)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.5584379$
 $a[2] = 0.003625$
 $a[3] = -0.0000155$
 $a[4] = 4.36632\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = $4.42930\text{E-}0026$

VI тип $\rho_{\text{в}} = 2573 \text{ кг/м}^3$ (изменение градиента температур)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.7$
 $a[1] = 1.1819371$
 $a[2] = -0.1433021$
 $a[3] = 0.0072518$
 $a[4] = -0.0001316$

Сумма квадратов отклонений = $1.51436\text{E-}0025$

Приложение В

Зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха помещения
до $t_e = 0\text{ }^\circ\text{C}$; $4\text{ }^\circ\text{C}$; $8\text{ }^\circ\text{C}$; $10\text{ }^\circ\text{C}$; $13\text{ }^\circ\text{C}$ при отключении системы теплоснабжения
для температуры холодной пятидневки г. Днепропетровска

1) До $t_e = 0\text{ }^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = -0.0000114$
 $a[1] = 0.6257161$
 $a[2] = -8.87784\text{E-}0007$
 $a[3] = 1.33365\text{E-}0008$
 $a[4] = -5.32670\text{E-}0011$

Сумма квадратов отклонений = $1.60714\text{E-}0007$

2) До $t_e = 4\text{ }^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = -0.0000777$
 $a[1] = 0.465397$
 $a[2] = -9.20691\text{E-}0007$
 $a[3] = 8.19918\text{E-}0009$
 $a[4] = -2.30824\text{E-}0011$

Сумма квадратов отклонений = $3.25547\text{E-}0007$

3) До $t_e = 8\text{ }^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = -0.0000777$

$a[1] = 0.327247$

$a[2] = -9.20691E-0007$

$a[3] = 8.19918E-0009$

$a[4] = -2.30824E-0011$

Сумма квадратов отклонений = $3.25547E-0007$

4) До $t_g = 10^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = -0.0000549$

$a[1] = 0.264712$

$a[2] = -3.11790E-0007$

$a[3] = 2.13068E-0010$

$a[4] = 7.69413E-0012$

Сумма квадратов отклонений = $2.62819E-0007$

5) До $t_g = 13^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = -0.000053$

$a[1] = 0.1777071$

$a[2] = -1.10133E-0006$

$a[3] = 1.34154E-0008$

$a[4] = -4.97159E-0011$

Сумма квадратов отклонений = $2.75758E-0007$

Приложение Г

Зависимости времени охлаждения эталонного помещения от заданной температуры
внутреннего воздуха $t_g = 20$ °С при $\beta = 80$ ч; 55 ч; 26 ч; $m = 1,3$ ч⁻¹

для температуры наружного воздуха $t_n = -23$ °С

при отключении системы отопления

$\beta = 80$ ч

(с) ЕМТ 1990	N U M E R I	Версия : 2.1
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных		
Глава : Полином		

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 63.19586$
 $a[1] = -4.0687254$
 $a[2] = -0.4186352$
 $a[3] = 0.0649248$
 $a[4] = -0.0021615$

Сумма квадратов отклонений = 3.03110E-0023

$\beta = 55$ ч

(с) ЕМТ 1990	N U M E R I	Версия : 2.1
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных		
Глава : Полином		

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 43.71129$
 $a[1] = -2.7988337$
 $a[2] = -0.2871171$
 $a[3] = 0.0445489$
 $a[4] = -0.0014829$

Сумма квадратов отклонений = 8.98542E-0024

$$\beta = 26 \text{ ч}$$

(с) ЕМТ 1990

N U M E R I

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 21.11336$

$a[1] = -1.3223307$

$a[2] = -0.136058$

$a[3] = 0.0211007$

$a[4] = -0.0007025$

Сумма квадратов отклонений = 2.13204E-0024

Приложение Д

Зависимости времени охлаждения эталонного помещения от заданной температуры
внутреннего воздуха $t_e = 20\text{ }^\circ\text{C}$ при $\beta = 80\text{ ч}; 55\text{ ч}; 26\text{ ч}; m = 1,3\text{ ч}^{-1}$

для температуры наружного воздуха $t_n = -5,4\text{ }^\circ\text{C}$

при отключении системы отопления

$\beta = 80\text{ ч}$

(с) ЕМТ 1990	N U M E R I	Версия : 2.1
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных		
Глава : Полином		

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 220.826353$

$a[1] = -52.8371339$

$a[2] = 6.1519338$

$a[3] = -0.24746$

Сумма квадратов отклонений = 6.59008E-0025

$\beta = 55\text{ ч}$

(с) ЕМТ 1990	N U M E R I	Версия : 2.1
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных		
Глава : Полином		

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 152.082255$

$a[1] = -36.3255297$

$a[2] = 4.2294545$

$a[3] = -0.1701287$

Сумма квадратов отклонений = 4.81193E-0025

$$\beta = 26 \text{ ч}$$

(c) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 72.3432683$

$a[1] = -17.1720686$

$a[2] = 1.9993785$

$a[3] = -0.0804245$

Сумма квадратов отклонений = $5.58766\text{E-}0026$

Приложение Е

Зависимости времени охлаждения внутреннего воздуха эталонного помещения до

$t_e = 4\text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 8\text{ }^\circ\text{C}$, $t_e = 13\text{ }^\circ\text{C}$ с учетом коэффициента теплоаккумуляции,

темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений,

удельных теплотерь при отключении системы теплоснабжения

для $t_n = -23\text{ }^\circ\text{C}$ г. Днепропетровска

$t_e = 4\text{ }^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 0.0223106$

$a[1] = 0.597769$

$a[2] = -0.0013716$

$a[3] = 0.0000121$

$a[4] = -3.65175\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0187767

$t_e = 8\text{ }^\circ\text{C}$

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 0.0234091$

$a[1] = 0.4022495$

$a[2] = -0.0013487$

$a[3] = 0.0000119$

$a[4] = -3.57244\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0206688

$$t_g = 13 \text{ }^\circ\text{C}$$

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 0.0225379$

$a[1] = 0.2026568$

$a[2] = -0.0013557$

$a[3] = 0.0000119$

$a[4] = -3.58783\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0191732

Приложение Ж

Закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для ноября, января, марта месяцев отопительного периода с учетом солнечной радиации

I тип $\rho_{\text{э}} = 864 \text{ кг/м}^3$ для ноября

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 19.1$
 $a[1] = -0.6718333$
 $a[2] = 0.0463194$
 $a[3] = -0.0016782$
 $a[4] = 0.0000224$

Сумма квадратов отклонений = 1.11785E-0025

I тип $\rho_{\text{э}} = 864 \text{ кг/м}^3$ для января

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.1$
 $a[1] = -1.5058333$
 $a[2] = 0.1038194$
 $a[3] = -0.0037616$
 $a[4] = 0.0000502$

Сумма квадратов отклонений = 4.03431E-0026

I тип $\rho_{\text{э}} = 864 \text{ кг/м}^3$ для марта

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.7$
 $a[1] = -1.0579444$

$$\begin{aligned} a[2] &= 0.0729398 \\ a[3] &= -0.0026427 \\ a[4] &= 0.0000352 \end{aligned}$$

Сумма квадратов отклонений = 8.44554E-0026
I тип $\rho_{\text{э}}$ = 2124 кг/м³ для ноября

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18$
 $a[1] = -0.5531111$
 $a[2] = 0.0253333$
 $a[3] = -0.0004691$
 $a[4] = 6.42911E-0017$

Сумма квадратов отклонений = 6.73214E-0026
I тип $\rho_{\text{э}}$ = 2124 кг/м³ для января

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 15.4$
 $a[1] = -1.2226667$
 $a[2] = 0.056$
 $a[3] = -0.001037$
 $a[4] = 5.94493E-0017$

Сумма квадратов отклонений = 5.97043E-0026
I тип $\rho_{\text{э}}$ = 2124 кг/м³ для марта

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.8$
 $a[1] = -0.8587778$
 $a[2] = 0.0393333$
 $a[3] = -0.0007284$

$$a[4] = 2.77753E-0017$$

Сумма квадратов отклонений = 1.07127E-0026
 II тип $\rho_{\text{э}} = 1020 \text{ кг/м}^3$ для ноября

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 19.1$
 $a[1] = -0.522$
 $a[2] = 0.0447083$
 $a[3] = -0.0020139$
 $a[4] = 0.0000336$

Сумма квадратов отклонений = 2.76038E-0025
 II тип $\rho_{\text{э}} = 1020 \text{ кг/м}^3$ для января

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.1$
 $a[1] = -1.17$
 $a[2] = 0.1002083$
 $a[3] = -0.0045139$
 $a[4] = 0.0000752$

Сумма квадратов отклонений = 1.04679E-0025
 II тип $\rho_{\text{э}} = 1020 \text{ кг/м}^3$ для марта

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.6$
 $a[1] = -0.816$
 $a[2] = 0.0698889$
 $a[3] = -0.0031481$
 $a[4] = 0.0000525$

Сумма квадратов отклонений = 1.45936E-0025
 II тип $\rho_{\text{э}} = 1652 \text{ кг/м}^3$ для ноября

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.9$
 $a[1] = -0.4804861$
 $a[2] = 0.0402373$
 $a[3] = -0.0018036$
 $a[4] = 0.0000301$

Сумма квадратов отклонений = 4.25269E-0025
 II тип $\rho_{\text{э}} = 1652 \text{ кг/м}^3$ для января

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 17.7$
 $a[1] = -1.0796806$
 $a[2] = 0.0904155$
 $a[3] = -0.0040529$
 $a[4] = 0.0000675$

Сумма квадратов отклонений = 1.60770E-0026
 II тип $\rho_{\text{э}} = 1652 \text{ кг/м}^3$ для марта

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.4$
 $a[1] = -0.7574722$
 $a[2] = 0.0634329$
 $a[3] = -0.0028434$
 $a[4] = 0.0000474$

Сумма квадратов отклонений = 4.45044E-0026
 III тип $\rho_{\text{э}} = 2688 \text{ кг/м}^3$ для ноября

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 16.2
a[1] = -0.812
a[2] = 0.062162
a[3] = -0.0025509
a[4] = 0.000041

Сумма квадратов отклонений = 1.25271E-0026
III тип $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$ для января

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 11.8
a[1] = -1.848
a[2] = 0.1414722
a[3] = -0.0058056
a[4] = 0.0000934

Сумма квадратов отклонений = 1.70762E-0026
III тип $\rho_s = 2688 \text{ кг/м}^3$ для марта

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 14.2
a[1] = -1.288
a[2] = 0.0986019
a[3] = -0.0040463
a[4] = 0.0000651

Сумма квадратов отклонений = 1.36836E-0026
IV тип $\rho_s = 1865 \text{ кг/м}^3$ для ноября

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.7$
 $a[1] = -0.4080833$
 $a[2] = 0.0315093$
 $a[3] = -0.0013449$
 $a[4] = 0.0000213$

Сумма квадратов отклонений = 1.61874E-0027
 IV тип $\rho_{\rho} = 1865 \text{ кг/м}^3$ для января

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 17.3$
 $a[1] = -0.9194167$
 $a[2] = 0.0709907$
 $a[3] = -0.0030301$
 $a[4] = 0.0000481$

Сумма квадратов отклонений = 1.06525E-0025
 IV тип $\rho_{\rho} = 1865 \text{ кг/м}^3$ для марта

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18$
 $a[1] = -0.6391667$
 $a[2] = 0.0493519$
 $a[3] = -0.0021065$
 $a[4] = 0.0000334$

Сумма квадратов отклонений = 4.12249E-0025
 V тип $\rho_{\rho} = 1930 \text{ кг/м}^3$ для ноября

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			

Глава : Полином

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.7$

$$a[1] = -0.4784028$$

$$a[2] = 0.0458229$$

$$a[3] = -0.0022735$$

$$a[4] = 0.00004$$

Сумма квадратов отклонений = 1.18897E-0026

V тип $\rho_{\text{я}}$ = 1930 кг/м³ для января

(с) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных

Глава : Полином

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 17.1$

$$a[1] = -1.0663194$$

$$a[2] = 0.1021354$$

$$a[3] = -0.0050675$$

$$a[4] = 0.0000892$$

Сумма квадратов отклонений = 6.55165E-0026

V тип $\rho_{\text{м}}$ = 1930 кг/м³ для марта

(с) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных

Глава : Полином

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 17.9$

$$a[1] = -0.7435417$$

$$a[2] = 0.0712187$$

$$a[3] = -0.0035336$$

$$a[4] = 0.0000622$$

Сумма квадратов отклонений = 3.12013E-0025

VI тип $\rho_{\text{н}}$ = 2573 кг/м³ для ноября

(с) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных

Глава : Полином

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.4$
 $a[1] = -0.3825$
 $a[2] = 0.0322917$
 $a[3] = -0.0015972$
 $a[4] = 0.0000289$

Сумма квадратов отклонений = 6.62959E-0026
 VI тип $\rho_{\text{я}}$ = 2573 кг/м³ для января

(с) ЕМТ 1990

N U M E R I

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 12.1$
 $a[1] = -0.860625$
 $a[2] = 0.0726562$
 $a[3] = -0.0035937$
 $a[4] = 0.0000651$

Сумма квадратов отклонений = 3.85477E-0026
 VI тип $\rho_{\text{м}}$ = 2573 кг/м³ для марта

(с) ЕМТ 1990

N U M E R I

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 14.5$
 $a[1] = -0.605625$
 $a[2] = 0.0511285$
 $a[3] = -0.0025289$
 $a[4] = 0.0000458$

Сумма квадратов отклонений = 3.21035E-0026

Приложение 3

Закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из
керамзитобетона (I тип) и железобетона (III тип)

при отключении системы теплоснабжения

с учетом солнечной радиации для месяцев отопительного периода

I тип (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 18.1

a[1] = -1.5058333

a[2] = 0.1038194

a[3] = -0.0037616

a[4] = 0.0000502

Сумма квадратов отклонений = 4.03431E-0026

III тип (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 11.8

a[1] = -1.8766667

a[2] = 0.1502315

a[3] = -0.0066019

a[4] = 0.0001155

Сумма квадратов отклонений = 1.24315E-0026

I тип (февраль)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 18.4

a[1] = -1.251

a[2] = 0.08625

a[3] = -0.003125

a[4] = 0.0000417

Сумма квадратов отклонений = 2.51994E-0026

III тип (февраль)

(c) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 13.1

a[1] = -1.526

a[2] = 0.1168218

a[3] = -0.004794

a[4] = 0.0000771

Сумма квадратов отклонений = 2.05443E-0026

I тип (март)

(c) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : a[0] = 19.1

a[1] = -0.6718333

a[2] = 0.0463194

a[3] = -0.0016782

a[4] = 0.0000224

Сумма квадратов отклонений = 1.11785E-0025

III тип (март)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 16.2$

$$a[1] = -0.812$$

$$a[2] = 0.062162$$

$$a[3] = -0.0025509$$

$$a[4] = 0.000041$$

Сумма квадратов отклонений = $1.25271E-0026$

I тип (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.7$

$$a[1] = -1.0579444$$

$$a[2] = 0.0729398$$

$$a[3] = -0.0026427$$

$$a[4] = 0.0000352$$

Сумма квадратов отклонений = $8.44554E-0026$

III тип (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 14.2$

$$a[1] = -1.288$$

$$a[2] = 0.0986019$$

$$a[3] = -0.0040463$$

$$a[4] = 0.0000651$$

Сумма квадратов отклонений = 1.36836E-0026

I тип (декабрь)

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 18.3$

$$a[1] = -1.4208889$$

$$a[2] = 0.097963$$

$$a[3] = -0.0035494$$

$$a[4] = 0.0000473$$

Сумма квадратов отклонений = 8.73340E-0026

III тип (декабрь)

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 12.3$

$$a[1] = -1.736$$

$$a[2] = 0.1328981$$

$$a[3] = -0.0054537$$

$$a[4] = 0.0000877$$

Сумма квадратов отклонений = 2.14144E-0026

Приложение И

Закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч; 62 ч; 80 ч при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации в ноябре, в январе, в марте месяцах отопительного периода

$\beta = 26$ ч (март)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.369087$
 $a[2] = 0.0070497$
 $a[3] = -0.0000849$
 $a[4] = 5.56649E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 8.66390E-0026

$\beta = 26$ ч (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.8227564$
 $a[2] = 0.015715$
 $a[3] = -0.0001892$
 $a[4] = 0.0000012$

Сумма квадратов отклонений = 6.45919E-0026

$\beta = 26$ ч (ноябрь)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.5766984$
 $a[2] = 0.0110152$
 $a[3] = -0.0001326$
 $a[4] = 8.69750E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 1.24892E-0026

$\beta = 62$ ч (март)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.1548364$
 $a[2] = 0.0012479$
 $a[3] = -6.61728E-0006$
 $a[4] = 2.23380E-0008$

Сумма квадратов отклонений = 5.15221E-0026

$\beta = 62$ ч (январь)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.3451561$
 $a[2] = 0.0027818$
 $a[3] = -0.0000148$

$$a[4] = 4.98039E-0008$$

Сумма квадратов отклонений = 5.12349E-0026

$\beta = 62$ ч (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.2419319$
 $a[2] = 0.0019498$
 $a[3] = -0.0000103$
 $a[4] = 3.48990E-0008$

Сумма квадратов отклонений = 2.79396E-0025

$\beta = 80$ ч (март)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.1199993$
 $a[2] = 0.0007498$
 $a[3] = -3.09734E-0006$
 $a[4] = 8.41371E-0009$

Сумма квадратов отклонений = 3.86605E-0026

$\beta = 80$ ч (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.2674985$
 $a[2] = 0.0016714$
 $a[3] = -6.90444E-0006$
 $a[4] = 1.87532E-0008$

Сумма квадратов отклонений = $7.17753E-0025$

$\beta = 80$ ч (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.1874989$
 $a[2] = 0.0011715$
 $a[3] = -4.83900E-0006$
 $a[4] = 1.31334E-0008$

Сумма квадратов отклонений = $1.72805E-0025$

Приложение К

Закономерности интенсивности охлаждения внутреннего воздуха с коэффициентами

теплоаккумуляции $\beta = 26$ ч, 62 ч, 80 ч

при отключении системы теплоснабжения с учетом солнечной радиации и ветра

для месяцев отопительного периода

$\beta = 26$ ч (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$

$a[1] = -0.8993514$

$a[2] = 0.0171168$

$a[3] = -0.0002025$

$a[4] = 0.0000013$

Сумма квадратов отклонений = 6.30813E-0026

$\beta = 62$ ч (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$

$a[1] = -0.3769306$

$a[2] = 0.002934$

$a[3] = -8.87346E-0006$

$a[4] = -9.64506E-0008$

Сумма квадратов отклонений = 3.67862E-0026

$\beta = 80$ ч (январь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.2929028$
 $a[2] = 0.0019248$
 $a[3] = -0.0000143$
 $a[4] = 1.60751E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 4.29588E-0025

$\beta = 26$ ч (февраль)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.7609889$
 $a[2] = 0.0144935$
 $a[3] = -0.0001725$
 $a[4] = 0.0000011$

Сумма квадратов отклонений = 1.56573E-0026

$\beta = 62$ ч (февраль)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.3192083$
 $a[2] = 0.0025544$
 $a[3] = -0.0000127$
 $a[4] = 3.21502E-0008$

Сумма квадратов отклонений = 2.90679E-0026

$\beta = 80$ ч (февраль)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.2476111$
 $a[2] = 0.0015556$
 $a[3] = -6.17284E-0006$
 $a[4] = -2.55569E-0016$

Сумма квадратов отклонений = 9.73634E-0025

$\beta = 26$ ч (март)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.4071806$
 $a[2] = 0.0077164$
 $a[3] = -0.0000899$
 $a[4] = 5.46553E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 1.22589E-0025

$\beta = 62$ ч (март)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.1713056$
 $a[2] = 0.0014537$
 $a[3] = -0.0000123$

$$a[4] = 1.28601E-0007$$

Сумма квадратов отклонений = 3.94178E-0026

$\beta = 80$ ч (март)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.132875$
 $a[2] = 0.0009248$
 $a[3] = -0.0000104$
 $a[4] = 1.60751E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 1.41919E-0025

$\beta = 26$ ч (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.6149306$
 $a[2] = 0.0117049$
 $a[3] = -0.0001385$
 $a[4] = 8.68056E-0007$

Сумма квадратов отклонений = 1.99654E-0025

$\beta = 62$ ч (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.258$
 $a[2] = 0.0020556$
 $a[3] = -9.25926E-0006$
 $a[4] = -1.44117E-0016$

Сумма квадратов отклонений = $3.26929E-0025$

$\beta = 80$ ч (ноябрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.1998194$
 $a[2] = 0.0012095$
 $a[3] = -2.70062E-0006$
 $a[4] = -3.21502E-0008$

Сумма квадратов отклонений = $2.69462E-0025$

$\beta = 26$ ч (декабрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.8524972$
 $a[2] = 0.0169924$
 $a[3] = -0.0002494$
 $a[4] = 0.0000024$

Сумма квадратов отклонений = $5.47848E-0026$

$\beta = 62$ ч (декабрь)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.3561389$
 $a[2] = 0.0028194$
 $a[3] = -0.0000123$
 $a[4] = 6.44015E-0017$

Сумма квадратов отклонений = $6.82870E-0026$

$\beta = 80$ ч (декабрь)

(с) EMT 1990

NUMERI

Версия : 2.1 ||

Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных ||

Глава : Полином ||

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 20$
 $a[1] = -0.2765556$
 $a[2] = 0.0018009$
 $a[3] = -0.0000123$
 $a[4] = 1.28601E-0007$

Сумма квадратов отклонений = $2.29148E-0026$

Приложение Л

Зависимости изменения времени охлаждения внутреннего воздуха от $t_g = 20\text{ }^\circ\text{C}$

с коэффициентом теплоаккумуляции $\beta = 26\text{ ч, } 62\text{ ч, } 80\text{ ч}$

для эталонного помещения

с учетом солнечной радиации и ветра в январе месяце.

$\beta = 26\text{ ч (с учетом солнечной радиации)}$

(с) ЕМТ 1990	N U M E R I	Версия : 2.1
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных		
Глава : Полином		

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 30.4978826$
 $a[1] = -2.3321075$
 $a[2] = 0.0197939$
 $a[3] = 0.0041164$

Сумма квадратов отклонений = $1.63136\text{E-}0027$

$\beta = 26\text{ ч (с учетом солнечной радиации и ветра)}$

(с) ЕМТ 1990	N U M E R I	Версия : 2.1
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных		
Глава : Полином		

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 65.3684047$
 $a[1] = -9.6130655$
 $a[2] = 0.6882438$
 $a[3] = -0.0175556$

Сумма квадратов отклонений = $1.92356\text{E-}0026$

$\beta = 26$ ч (без учета солнечной радиации и ветра)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 40.5251071$
 $a[1] = -3.8250756$
 $a[2] = 0.1184348$
 $a[3] = 0.0019356$

Сумма квадратов отклонений = 1.12334E-0027

$\beta = 62$ ч (с учетом солнечной радиации)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 71.5453131$
 $a[1] = -5.5611795$
 $a[2] = 0.0472008$
 $a[3] = 0.009816$

Сумма квадратов отклонений = 1.51966E-0026

$\beta = 62$ ч (с учетом солнечной радиации и ветра)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 154.6980965$
 $a[1] = -22.9234639$
 $a[2] = 1.6411967$
 $a[3] = 0.0418633$

Сумма квадратов отклонений = 1.88468E-0025

$\beta = 62$ ч (без учета солнечной радиации и ветра)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 95.4563869$
 $a[1] = -9.1213341$
 $a[2] = 0.2824215$
 $a[3] = 0.0046157$

Сумма квадратов отклонений = 1.51461E-0027

$\beta = 80$ ч (с учетом солнечной радиации)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 92.0713204$
 $a[1] = -7.1757155$
 $a[2] = 0.0609043$
 $a[3] = 0.0126659$

Сумма квадратов отклонений = 5.09920E-0027

$\beta = 80$ ч (с учетом солнечной радиации и ветра)

(с) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 199.3652344$
 $a[1] = -29.5786631$
 $a[2] = 2.1176732$
 $a[3] = 0.0540172$

Сумма квадратов отклонений = $1.29752E-0026$

$\beta = 80$ ч (без учета солнечной радиации и ветра)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3$$

Коэффициенты : $a[0] = 122.9243188$
 $a[1] = -11.7694633$
 $a[2] = 0.3644148$
 $a[3] = 0.0059557$

Сумма квадратов отклонений = $1.48432E-0026$

Приложение М

Закономерности времени охлаждения внутреннего воздуха помещений до $t_e = 13\text{ }^\circ\text{C}$ и до $t_e = 8\text{ }^\circ\text{C}$ с учетом коэффициента теплоаккумуляции зданий, темпа остывания отопительных приборов, бытовых теплопоступлений, удельных теплопотерь, воздействия солнечной радиации и ветра в январе при отключении системы теплоснабжения

До $t_e = 13\text{ }^\circ\text{C}$ (с учетом солнечной радиации)

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 0.0272727$
 $a[1] = 0.5051948$
 $a[2] = -0.001286$
 $a[3] = 0.0000112$
 $a[4] = -3.31439\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0308225

До $t_e = 13\text{ }^\circ\text{C}$ (с учетом солнечной радиации и ветра)

(c) EMT 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 0.0212121$
 $a[1] = 0.7461869$
 $a[2] = -0.0012595$
 $a[3] = 0.000011$
 $a[4] = -3.31439\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0169697

До $t_e = 13\text{ }^\circ\text{C}$ (без учета солнечной радиации и ветра)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 0.0238636$
 $a[1] = 0.6082102$
 $a[2] = -0.0014169$
 $a[3] = 0.0000124$
 $a[4] = -3.72869\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0214773

До $t_e = 8\text{ }^\circ\text{C}$ (с учетом солнечной радиации)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = 6.96017\text{E-}0014$
 $a[1] = 1.2195942$
 $a[2] = -0.0021979$
 $a[3] = 0.0000234$
 $a[4] = -8.28598\text{E-}0008$

Сумма квадратов отклонений = 0.0178355

До $t_e = 8\text{ }^\circ\text{C}$ (с учетом солнечной радиации и ветра)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1		
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных				
Глава : Полином				

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

Коэффициенты : $a[0] = -0.0170455$

$$\begin{aligned} a[1] &= 2.5629306 \\ a[2] &= -0.0022692 \\ a[3] &= 0.0000235 \\ a[4] &= -7.99006\text{E-}0008 \end{aligned}$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 0.2544643$$

До $t_s = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ (без учета солнечной радиации и ветра)

(с) ЕМТ 1990	NUMERI	Версия : 2.1	
Раздел : Интерполяция и аппроксимация данных			
Глава : Полином			

$$y = a[0] + a[1] \cdot x^1 + a[2] \cdot x^2 + a[3] \cdot x^3 + a[4] \cdot x^4$$

$$\text{Коэффициенты : } a[0] = 0.0056818$$

$$\begin{aligned} a[1] &= 1.5953405 \\ a[2] &= -0.0016811 \\ a[3] &= 0.0000155 \\ a[4] &= -4.91241\text{E-}0008 \end{aligned}$$

$$\text{Сумма квадратов отклонений} = 0.1822132$$

Приложение Н

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе

ГВУЗ ПГАСА



д.т.н., проф.

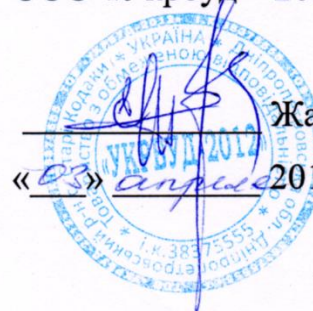
Савицкий Н.В.

2015 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ООО «Укрбуд – 2012»



Жариков Е.В.

«03» апреля 2015 г.

А К Т

внедрения системы контроля и управления параметрами микроклимата помещений при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения

Комиссия в составе представителей от ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» д.т.н., проф. Беликова А.С., к.т.н., проф. Сафонова В.В., соискателя Колесник И.А. с одной стороны и от предприятия ООО «Укрбуд – 2012» директора Жарикова Е.В., инженера Шевченко А.А. с другой стороны составили настоящий акт в том, что в период с мая 2013 г. по апрель 2015 г. на возведенном данным предприятием – торговом комплексе АТБ – была внедрена комплексная система автоматизированного контроля и управления параметрами микроклимата помещений при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения и проведены экспериментальные исследования.

Градостроительной комиссией г. Днепропетровска была поставлена задача проектирования и возведения здания торгового центра типа АТБ, отличающегося от предыдущих по поддержанию и обеспечению оптимальных параметров микроклимата при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения с учетом теплотехнических показателей и энергосбережения. Для выполнения данных условий был выполнен ряд теплотехнических расчетов различных вариантов ограждающих конструкций, учитывающий целый комплекс факторов влияющих на взаимодействие замкнутого пространства помещения с

окружающей средой (с учетом полученных результатов в работе):

- кирпичная кладка толщиной 0,56 м, коэффициент теплоусвоения $S = 8,02 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- керамзитобетонная панель толщиной 0,23 м, $S = 3,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;
- панель типа «сэндвич» с утеплителем из плиточного пенопласта с обшивкой с двух сторон металлическими листами, толщина панели 0,052 м; $S = 0,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

В результате проведенных исследований был выбран и предложен оптимальный вариант обеспечения необходимых параметров микроклимата на рабочих местах торгового комплекса АТБ при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения.

Проведенные расчеты и исследования учитывали изменения теплотехнических характеристик строительных ограждающих конструкций и позволили получить данные процессов теплообмена при эксплуатации зданий и сооружений с учетом влияния окружающей среды, в том числе ветровой и солнечной активности. Для получения необходимых фактических данных была применена запроектированная и изготовленная специальная система контроля с программным обеспечением (рис.1), дающая возможность оценивать указанные факторы в виде непрерывного постоянного контроля с определением значений основных и косвенных параметров, поступающих непрерывно с датчиков 7 и 8, установленных на ограждающих конструкциях.

Внешние и внутренние тепловые воздействия на тепловой режим зданий в зависимости от характера изменения их параметров можно условно отнести к двум основным типам: периодически повторяющиеся и имеющие разовое проявление.

К первому типу воздействий относятся ежесуточные изменения температуры наружного воздуха, интенсивность солнечной радиации, ветровая активность, теплопоступления от системы отопления, от оборудования, от людей и т.п.

тепловыделений и избытка теплоты при отоплении Q_0 ;

$t'_в$ - температура внутреннего воздуха к моменту нарушения нормального теплового режима;

β - коэффициент аккумуляции тепловой энергии зданием.



Рис. 2 Экспериментальная установка системы контроля и подачи тепловой энергии.

При полном прекращении отопления и отсутствии внутренних тепловыделений, т.е. при $Q_0 = 0$, формула принимает вид:

$$t_g(z) = t_n + (t'_g - t_n)e^{-z/\beta} \quad (2)$$

При аварийных ситуациях в системах теплоснабжения важное значение приобретает резервное или дефицитное теплоснабжение с сохранением живучести объектов и обеспечения необходимых параметров микроклимата.

Величина резервной теплоотдачи на отопление $Q_{от.рез.}$ определялась, исходя из условия поддержания допустимых тепловых условий в помещениях в пределах времени восстановления работоспособности $Z_{вос}$ отказавшего элемента системы теплообеспечения. Причём, к моменту окончания аварийно-восстановительных работ температура внутреннего воздуха должна соответствовать заданной температуре помещения.

Относительную резервную теплоподачу определяли по формуле:

$$\bar{Q}_{ом.рез.} = 1 - \frac{\Delta t_{\epsilon(зад)}}{\left(t_{\epsilon} - t_n - \frac{Q_{быт}}{Q_{yd}} \right) \left\{ 1 - \left[k_t - \frac{1}{1 - \beta m} \right] e^{-z/\beta} \right\}} \quad (3)$$

где $\Delta t_{\epsilon(зад)} = t_{\epsilon.o.} - t_{\epsilon}$; t_{ϵ} - текущая температура внутреннего воздуха после отключения системы отопления, °С; $t_{\epsilon.o.}$ - температура внутреннего воздуха в момент отключения системы отопления, °С; t_n - температура наружного воздуха, °С; $Q_{быт} = 21F_{пл}$ - бытовые теплопоступления; $F_{пл}$ - площадь пола помещения, м²; Q_{yd} - удельные теплотери, Вт/°С; m - темп охлаждения нагревательных приборов, ч⁻¹; β - коэффициент аккумуляции тепла, ч; k_t - коэффициент для подсчёта теплоаккумуляции ограждающих конструкций помещения; Z - время охлаждения внутреннего воздуха до заданного $\Delta t_{\epsilon(зад)}$, ч.

Необходимое время восстановления параметров микроклимата в зависимости от относительной резервной теплоподачи определяли по формуле:

$$Z_{вос} = -\beta \ln \frac{1 - \frac{\Delta t_{\epsilon(зад)}}{\left(t_{\epsilon.o.} - t_n - \frac{Q_{быт}}{Q_{yd}} \right) (1 - \bar{Q}_{ом.рез.})}}{k_t - \frac{1}{1 - \beta m}} \quad (4)$$

Так при проведении исследований для определения относительной резервной теплоподачи, с понижением температуры внутреннего воздуха от $t_{\epsilon.o.} = 20$ °С до $t_{\epsilon(\min)} = 14$ °С, $\Delta t_{\epsilon(зад)} = 20 - 14 = 6$ °С, при $\beta = 53$ ч; $m = 1,3$ ч⁻¹; $k_t = 0,94$; $t_n = -23$ °С; $Z_{вос}/\beta = 1$; $Q_{быт}/Q_{yd} = \frac{21 \cdot 16}{40} = 8,4$ °С:

$$\bar{Q}_{ом.рез.} = 1 - \frac{6}{(20 + 23 - 8,4) \left(1 - \left[0,94 - \frac{1}{1 - 53 \cdot 1,3} \right] e^{-1} \right)} = 0,82$$

При этом, время восстановления параметров микроклимата в зависимости от относительной резервной теплоподачи определялось по зависимости:

$$Z_{вос} = -53 \ln \frac{1 - \frac{6}{(20 + 23 - 8,4)(1 - 0,82)}}{0,94 - \frac{1}{1 - 53 \cdot 1,3}} = 66 \text{ ч}$$

На рис. 3 приведены зависимости относительной резервной теплоподдачи $\bar{Q}_{от.рез.}$ от времени восстановления Z_{60c}/β при снижении температуры внутреннего воздуха от $t_{6.0.} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{6(\min)} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ при среднемесячных температурах зимних месяцев в г. Днепропетровске.

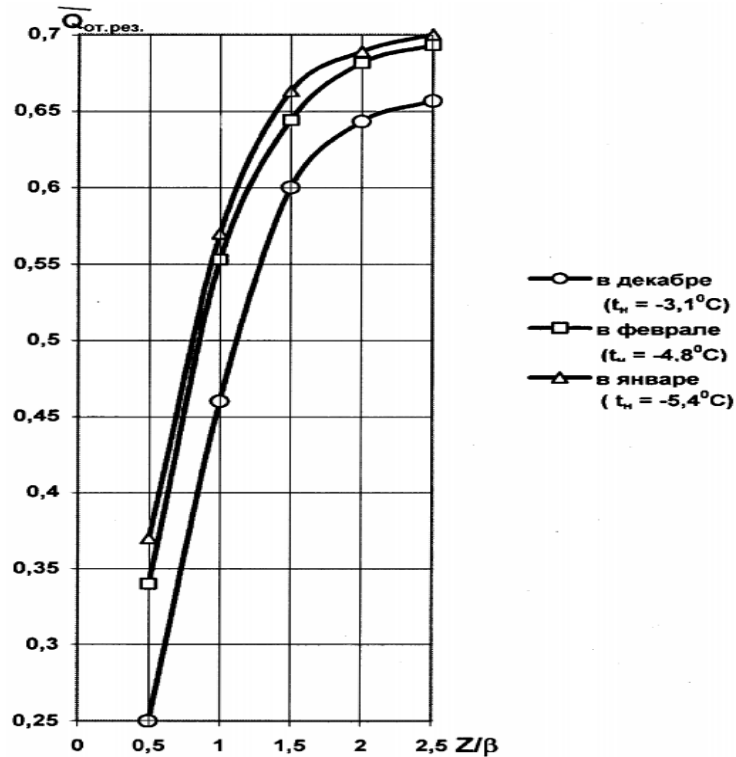


Рис. 3 Зависимости относительной резервной теплоподдачи $\bar{Q}_{от.рез.}$ от времени восстановления Z_{60c}/β при снижении температуры внутреннего воздуха от $t_{6.0.} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $t_{6(\min)} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний было установлено, что при значении параметра $Z_{60c}/\beta = 1,5$ и $t_{6(\min)} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$, допустимое снижение резервной теплоподдачи составляет:

- в декабре на 27%;
- в январе на 13%;
- в феврале на 29%.

С целью формулировки задачи минимизации расхода теплоты, т.е. энергосбережения и увеличения времени поддержания заданных параметров микроклимата при аварийно-дефицитных ситуациях в системах теплоснабжения,

как один из вариантов был также предложен и рассмотрен процесс «прерывистого» режима подачи теплоты.

При управлении расходом теплоты для периода «натопа» было установлено, что максимальная экономия энергии достигается при минимизации времени «натопа» за счет комплексной организации подачи тепла в период «натопа».

Проведены были исследования расхода теплоты в зависимости от схемы организации системы отопления в период «натопа» и теплоаккумуляционных показателей ограждающих конструкций. Было рассмотрено помещение площадью - 24 м², объёмом - 72 м³ с двумя наружными ограждающими конструкциями и окном с двойным остеклением площадью 3 м². При этом рассматривалось три варианта наружных ограждающих конструкций.

В расчете исходными данными были приняты следующие температурные условия: температура наружного воздуха $t_n = -5$ °С; минимальная температура внутреннего воздуха в момент начала «натопа» $t_{min} = 10$ °С; температура внутреннего воздуха $t_e = 22$ °С; температура внутренней поверхности наружного ограждения $\tau_e = 14$ °С.

«Натоп» обеспечивался конвективными тепловыми струями, настилающимися на внутренние поверхности ограждающих конструкций. Интенсивность конвективного теплообмена между воздухом и внутренними поверхностями ограждающих конструкций соответствовала следующим трём значениям коэффициента конвективного теплообмена: $\alpha_1 = 3,5$ Вт/(м²·°С) - обычный режим конвективного теплообмена; $\alpha_2 = 10,5$ Вт/(м²·°С) - режим конвективного теплообмена настилающимися струями; $\alpha_3 = 21$ Вт/(м²·°С) - режим конвективного теплообмена «интенсивными» настилающимися струями.

Результаты расчёта представлены в таблице 1.

Экономия теплоты при «натопе» помещения для достижения необходимых параметров микроклимата за счёт увеличения интенсивности конвективного теплообмена в 3 раза по сравнению с базовым вариантом ($\alpha_1 = 3,5$ Вт/(м²·°С)) достигает 64-70%, а при увеличении в 6 раз - 88%. При этом, время «натопа» уменьшается в среднем в 3 раза.

Представленные в таблице результаты экономии теплоты при «натопе» помещения достигнуты за счёт «правильной» организации системы отопления, то есть нагрев начинался с разогрева теплоёмких ограждающих конструкций, что обеспечило минимизацию времени «натопы».

На рис. 4 и 5 представлены, полученные зависимости затрат тепла в период «натопы» от интенсивности струйного конвективного нагрева для 3-х типов ограждений зданий (см. табл. 1).

При этом относительная резервная теплоподача:

$$\bar{Q}_{от.рез.} = 100 - \mathcal{E}_1(\alpha), \%$$

Поэтому был принят обычный режим конвективного теплообмена для $\alpha = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $\bar{Q}_{от.рез.} = 100\%$ – расчетный режим.

При $\alpha = 10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ за счет экономии тепла была получена для 2-х наиболее характерных типов ограждений:

$$\bar{Q}_{от.рез.} = 100 - \mathcal{E}_1(\alpha = 10,5 \dots) = 100 - 64 = 36\%,$$

А при $\alpha = 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ за счет экономии тепла была получена для всех 3-х типов ограждений:

$$\bar{Q}_{от.рез.} = 100 - \mathcal{E}_1(\alpha = 21 \dots) = 100 - 88 = 12\% \text{ (рис. 5).}$$

Таблица 1.

Режимы «прерывистого» отопления

Варианты ограждающих конструкций	Время «натоп» (τ , час) и затраты теплоты (Q , Вт·ч) на разогрев помещения при значениях коэффициентах конвективного теплообмена											
	$\alpha_1 = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$				$\alpha_2 = 10,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$				$\alpha_3 = 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$			
	τ , час	Q , Вт·ч	Экономия теплоты, %		τ , час	Q , Вт·ч	Экономия теплоты, %		τ , час	Q , Вт·ч	Экономия теплоты, %	
			\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2			\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2			\mathcal{E}_1	\mathcal{E}_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе	9,7	58100	-	-	3,5	20970	64	0	1,2	7160	88	-
Керамзитобетонная панель	2,5	35200	-	40	0,9	12560	64	40	0,31	4330	88	40
Панель типа «сендвич» с утеплителем из плиточного пенопласта	0,6	15650	-	56	0,2	4715	70	62	0,08	1940	88	55

где: Q - затраты теплоты на «натоп»; \mathcal{E}_1 - экономия теплоты за счёт повышения интенсивности конвективного теплообмена при одной и той же ограждающей конструкции; \mathcal{E}_2 - экономия теплоты за счёт уменьшения теплоаккумуляционных показателей ограждающей конструкции.

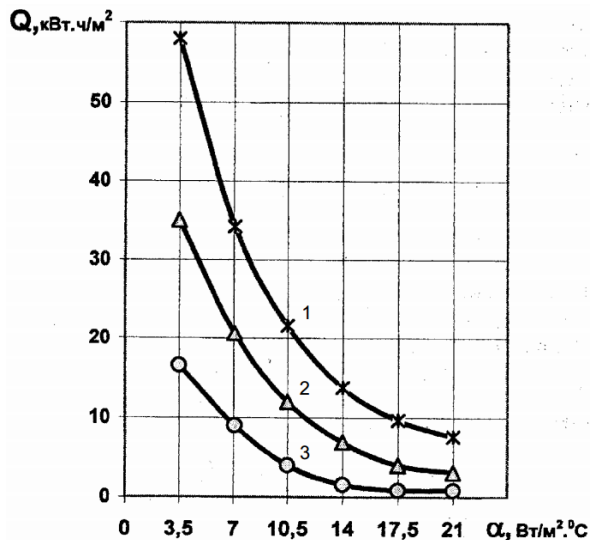


Рис. 4 Зависимость затрат тепла на разогрев помещения при «натопе» от интенсивности конвективного нагрева: 1 - кирпичная кладка; 2 - керамзитобетон; 3 - панель типа «сэндвич»

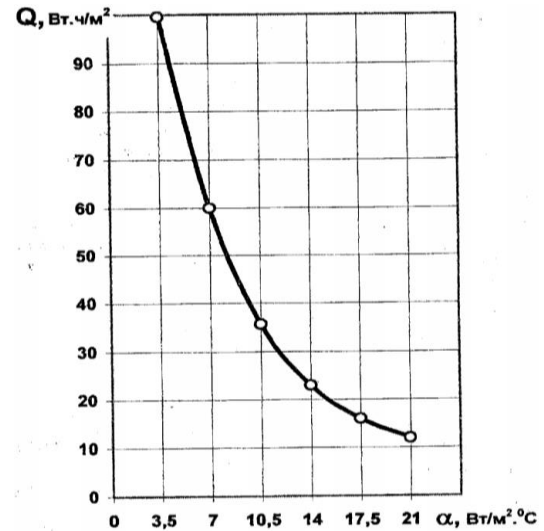



Рис. 5 Зависимость времени «натопа» и относительной резервной теплоотдачи от интенсивности конвективного нагрева ограждения.

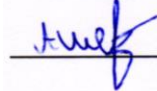
Проведенные опытно-промышленные испытания позволили при дефицитах тепловой энергии теплоснабжающим организациям повысить надёжность обеспечения установленной минимально допустимой температуры внутреннего воздуха в помещениях, а также увеличить период времени, в течение которого эта температура будет поддерживаться, а с применением резервного отопления не допустить достижения критических температур и увеличить время живучести систем жизнеобеспечения. Применение методики расчета позволило значительно уменьшить потребление тепла. Система позволяет обеспечивать подачу минимально необходимого количества тепла в здание, за счет полученной во времени информации от специальных датчиков, установленных на поверхности ограждающих конструкций зданий и передающих её на ПК, а затем на исполнительный механизм системы, что приводит к значительной экономии тепла. Так при стоимости на сегодняшний день 1 Гкал тепла 443,83 грн. применение предложенной системы управления и

контроля позволило снизить эту стоимость в декабре на 27%, в январе на 13%, в феврале на 29%, а в отопительный период – в среднем на 23%.

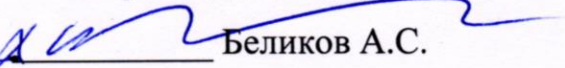
Директор ООО «Укрбуд – 2012»


Жариков Е.В.

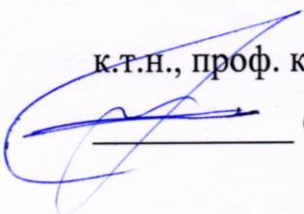
инженер ООО «Укрбуд – 2012»


Шевченко А.А.

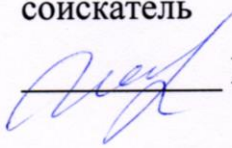
Зав. каф. БЖД д.т.н., проф.


Беликов А.С.

к.т.н., проф. каф. БЖД


Сафонов В.В.

соискатель


Колесник И.А.