

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЯКУБОВА ДИЛЬФУЗА АБДИРАХИМОВНА

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание степени магистра по специальности: 5А340403
«Теплогазоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха и охрана воздушного
бассейна»

Работа прошла предварительную

**защиту на заседании кафедры
«ПСЭИК» «___» _____ 2013 г.**

**протокол № ___ и рекомендована к
защите Зав. кафедрой _____**

доц. Буриев Э.С.

«___» _____ 2013 г

Научный руководитель:

доц. Исманходжаева М.Р.

ТАШКЕНТ – 2013

Утверждаю

Зав. кафедрой ПСЭИК

к.т.н. Буриев Э.С.

«__»_____2013 г.

ЗАДАНИЕ ПО ПОДГОТОВКЕ И НАПИСАНИЮ МАГИСТРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистрская диссертация по теме: «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА»

название (с указанием материалов конкретных организаций)

утверждённая приказом ректората института от « 27 » 02 2012 г.

за номером 2/53 по кафедре ПСЭИК

за слушателем Якубова Дилфуза Абдирахимовна

научный руководитель доц. Исманходжаева М.Р

Ф.И.О., занимаемая должность, учёная степень, учёное звание

должна быть подготовлена и представлена к предварительной защите

на кафедру _____

число, месяц, год

В работе будут использованы: Авторефераты, специальная литература, КМК,
статьи журналов, отчёты о научно-исследовательской работе,
Практические, балансовые и др. материалы, стат. данные др. ведомств и т.п.
за годы публикации, материалы семинаров, обзорные проспекты, брошюры,
каталоги.

труды и т.д. законодательные и нормативные акты, инструкции и т.п.

В работе предусматривается: _____

В работе предусматривается изложение следующих групп вопросов:

1-я группа Анализ по энергосбережению СКВ

название

2-я группа Исследование теплового режима (эксперимент)

название

3-я группа Определение годового расхода энергии на СКВ

название

Задание выдано 27.02.2012

число, месяц, год

Научный руководитель доц. Исманходжаева М.Р

подпись, Ф.И.О., дата

Задание принял слушатель Якубова Д.А

График завершения магистерской диссертации в первоначальном варианте

Глава первая. Принципы и задачи исследования энергосбережения при кондиционировании микроклимата.

название первой главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

1.1 Анализ обоснованно-необходимого расхода энергии при кондиционировании микроклимата.

1.2 Характеристика энергосберегающих мер.

1.3 Методы расчета годового расхода энергии и требования, предъявляемые к модели годового изменения параметров наружного климата.

1.4. Цели и задачи исследования и метод расчета теплового режима помещения.

Глава вторая. Исследование теплового режима помещения.

название второй главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

2.1. Условия формирования и составляющие тепловой нагрузки на СКМ.

2.2. Теплообмен на наружных поверхностях ограждений и параметры наружного климата.

2.3. Статические и динамические характеристики помещения как объекта регулирования.

Глава третья. Годовой расход энергии СКВ.

название первой главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

3.1. Годовое изменение параметров наружного климата.

3.2. Обеспеченность тепловой нагрузки на системы в эксплуатационных условиях.

3.3. Годовой расход энергии на отопление и охлаждение помещений и его обеспеченность.

3.4. Годовой расход энергоресурсов систем кондиционирования воздуха и его обеспеченность.

Глава четвертая. Эффективность энергосберегающих мер в системе кондиционирования микроклимата.

название первой главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

4.1. Экономически целесообразный уровень теплозащиты, размеры ориентация здания.

4.2. Эффективность мер по сокращению тепловой нагрузки на СКМ.

4.3. Эффективность энергосберегающих режимов работы систем.

4.4. Рекомендации по сокращению энергопотребления при выборе систем кондиционирования микроклимата общественных зданий.

Предварительная защита диссертация на кафедре _____
срок, дата, год

Задание выдано _____
доц. *Исманходжаева М.Р*
научный руководитель магистерской диссертации
Ф.И.О.

_____ подпись
_____ 27.02.2012г
_____ дата

Задание принял _____
Якубова Д.А
Ф.И.О., слушателя, подпись

_____ дата

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	7
Глава первая. Принципы и задачи исследования энергосбережения при кондиционировании микроклимата.....	15
1.1. Анализ обоснованно-необходимого расхода энергии при кондиционировании микроклимата.....	15
1.2. Характеристика энергосберегающих мер.....	21
1.3. Методы расчета годового расхода энергии и требования, предъявляемые к модели годового изменения параметров наружного климата.....	25
1.4. Цели и задачи исследования.....	29
Глава вторая. Исследование теплового режима помещения	39
2.1. Условия формирования и составляющие тепловой нагрузки на СКМ...39	
2.2. Теплообмен на наружных поверхностях ограждений и параметры наружного климата.. ..	43
2.3. Статические и динамические характеристики помещения как объекта регулирования	51
Выводы по главе 2.....	61
Глава третья. Годовой расход энергии СКВ	62
3.1. Годовое изменение параметров наружного климата.....	62
3.2. Обеспеченность тепловой нагрузки на системы в эксплуатационных условиях.....	70
3.3. Годовой расход энергии на отопление и охлаждение помещений и его обеспеченность.....	78

3.4. Годовой расход энергоресурсов систем кондиционирования воздуха и его обеспеченность.....	81
Выводы по главе 3.....	83
Глава четвертая. Эффективность энергосберегающих мер в системе кондиционирования микроклимата	85
4.1. Экономически целесообразный уровень теплозащиты, размеры ориентация здания.....	85
4.2. Эффективность мер по сокращению тепловой нагрузки на СКМ	89
4.3. Эффективность энергосберегающих режимов работы систем	92
4.4. Рекомендации по сокращению энергопотребления при выборе систем кондиционирования микроклимата общественных зданий.....	94
Выводы по главе 4.....	98
Заключение	99
Литература	102
Приложения	

Условные обозначения

G - массовый расход, кг/с;

t - температура, °С;

I - энтальпия воздуха, Дж/кг с.в.;

d - влагосодержание воздуха, г/кг с.в.;

C_p - теплоемкость воздуха Дж/(кг.К);

ρ - плотность, кг/м³;

V - скорость, м/с;

P - давление, Ма;

Q - тепловой поток, Вт;

W - количество тепла, энергии, Дж;

N - потребляемая мощность электроэнергии, Вт;

F - площадь теплопередающей поверхности, м²

f - удельная площадь теплопередающей поверхности, м²/(кг/с) ;

δ - ширина каналов в аппарате, м;

ℓ - длина каналов по ходу воздуха, м;

α - коэффициент теплоотдачи, Вт(м²К);

σ - коэффициент полного теплообмена со стороны вспомогательного потока, Вт / (м² (Дж/кг с.в.);

a, b - константы в линейной аппроксимации энтальпии насыщенного воздуха от температуры: $l = at_w - b$;

NTU - число единиц переноса теплоты ;

μ - коэффициент полезного действия, холодильный коэффициент;

E - теплотехническая эффективность;

Nu - критерий Нуссельта;

Re - критерий Рейнольдса;

G_w, G_0 - массовый расход воды и воздуха, соответственно, кг/с;

η_0, η_w, η_e – КПД вентилятора, насоса, электродвигателя, соответственно;

ВВЕДЕНИЕ

Речь Президента Республики Узбекистана И.А. Каримова для 2013 года: «Мы объявили 2013 год, Годом благополучия и процветания».

Огромные по масштабам и глубине цели и задачи, которые ставим перед собой по повышению благосостояния и благополучия населения, устойчивому развитию экономики, дальнейшему росту авторитета и позиций Узбекистана на международной арене, укреплению мира и стабильности в регионе в полной мере отвечают устремлениям и чаяниям наших людей.

Мобилизовать весь наш потенциал, возможности и средства для реализации наших программных целей в 2013 году и последующие годы – сегодня самая большая и ответственная задача.

В городе Ташкенте послужило распоряжение Президента И.А. Каримова (№ Р – 3806 от 12 марта 2012 года), где утверждены меры по

реконструкции, благоустройству и развитию старого города Ташкента на период до 2020 года.

Сегодня трудно себе представить современную высокоразвитую страну без широко разветвленных магистральных коммуникаций, обеспечивающих развитие экономики и жизнедеятельность городов и населенных пунктов.

Для нас исключительно важное значение имеет ускорение реализации проектов по строительству и реконструкции дорог, входящих в состав Узбекской национальной автомагистрали, надежно соединяющей все регионы республики, обеспечивающей выход на региональные и мировые рынки. В этих целях в 2012 году намечено осуществить строительство и реконструкцию 517 километров автомобильных дорог, 2-х крупных транспортных развязок, 544 погонных метров мостов и путепроводов, с направлением из Республиканского дорожного фонда средств в объеме, эквивалентном свыше 360 миллионов долларов США, что на 12,5 процента больше, чем в прошлом году.

Кабинету Министров обеспечить на ежемесячной основе рассмотрение с участием соответствующих руководителей министерств, ведомств, хозяйственных объединений и территориальных органов хода реализации проектов, предусмотренных к реализации в соответствии с Программой «Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах», с принятием действенных мер по решению вопросов, препятствующих ускорению их реализации.

Говоря о приоритетах, которые должны находиться в центре нашего внимания в 2012 году и последующих годах, особо хотел бы остановиться

на вопросах реализации Программы по строительству индивидуального жилья в сельской местности по типовым проектам.

Только в прошлом году по типовым проектам было построено 7400 индивидуальных жилых домов с жилой площадью 1,1 миллиона квадратных метров, на что было направлено свыше 576 миллиардов сумов инвестиций, из которых более 63 процентов составляют централизованные источники и собственные средства «Кишлоккурилиш банка».

Президент Узбекистана Ислам Каримов подписал указ "О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии".

Согласно указу, обнародованному в СМИ республики в субботу, документ принят "в целях дальнейшего продолжения проведения исследований и опытно-промышленных разработок на более высоком техническом и научном уровне, практического использования, с учетом мирового опыта, отдельных решений по применению альтернативных источников энергии в условиях Узбекистана, а также организации отечественного производства современного оборудования и технологий для этой сферы".

В докладе президента Республики Узбекистан И.А.Каримова «Стратегия реформ – повышение экономического потенциала страны» отмечено последовательное и целенаправленное претворение в жизнь либерализации, углубление экономических реформ обеспечение стабильного и пропорционального развития экономики благосостояние населения.

Энергосбережение было и остается одним из важнейших направлений совершенствования всех сторон жизни общества.

Опыт последних 10-15 лет показал, что развитые зарубежные страны достигли значительного 20-25%-го энергосберегающего эффекта в конечном потреблении энергии в жилищно-коммунальной сфере. Например, Дания уже к 1985 году потребляла на 28% меньше тепловой энергии на отопление жилья по сравнению с 1972 годом, что с учетом возрастания жилой площади за этот период фактически привело к энергосбережению на 47% по отношению к 1 м² жилья.

Такой эффект был достигнут благодаря комплексному подходу к этой проблеме, когда были решены законодательные, нормативные, административные, экономические и технические вопросы энергосбережения.

Современное состояние экономики требует одновременного решения большого количества проблем. Очевидно, что изменить эту ситуацию могут только подготовленные кадры, обладающие новым взглядом на энергосбережение.

По нашему мнению, подавляющее большинство специалистов нуждается в получении именно систематизированной информации, которая будет служить путеводной нитью для решения возникающих проблем и позволит в дальнейшем самостоятельно искать выход из нестандартных ситуаций, возникающих на производстве.

Переход к рыночной экономике ведет к прекращению государственного дотирования энергетических предприятий и потребителей их продукции, что выразилось в приведении тарифов на энергетическую продукцию в соответствие с фактическими затратами на ее производство. При этом значительно возросла доля затрат на продукцию энергетики в себестоимости промышленного и хозяйственного производства, в том числе и семейном бюджете и т.д.

Возникла объективная необходимость в поиске путей к более рациональному энергоиспользованию, которые могут быть найдены только посредством внедрения современных технических средств.

Под термином «энергосбережение» понимается экономия топлива, тепла, холода и электрической энергии, а также утилизация вторичных и природных энергетических ресурсов.

Системы кондиционирования воздуха потребляют до 40% добываемого в стране твердого и газообразного топлива и до 10% производимой электрической энергии. Поэтому энергосбережению надо уделять особое внимание на всех этапах создания сооружений и систем, учитывая, что от качества проектных решений в значительной мере зависит потребление энергии при эксплуатации. Для достижения эффективных проектных решений должна быть обеспечена согласованная работа архитекторов и конструкторов с технологами, гигиенистами и специалистами по СКВ, отоплению, вентиляции, светотехнике, водоснабжению и канализации, теплоснабжению и холодильной технике.

Внедрение энергосберегающей технологии нередко сопряжено с дополнительными капитальными затратами в строительство и смежные отрасли промышленности, с освоением новых видов материалов и изделий. Поэтому в первую очередь надо применять способы и средства энергосбережения на объектах, где достигается наибольший теплотехнический и экономический эффект при минимальных дополнительных капитальных вложениях.

Решение задач по снижению всех видов затрат в сфере производства и улучшению условий труда и отдыха во многом зависит от уровня решения систем общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха, которые наряду с другими системами обеспечивают надлежащие условия обитания человека, улучшают качество выпускаемой продукции. Вместе с тем эксплуатация этих систем связана со значительным потреблением тепловой и электрической энергии, иногда превышающим энергопотребление со стороны основного производства. В связи с этим исследования, направленные на

совершенствование как элементов систем, так и самих систем в целом имеют важное народнохозяйственное значение.

В настоящее время достаточно полно разработаны методы расчета отдельных элементов систем общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха (СВ и КВ), широко рассмотрены вопросы, касающиеся их рациональных схемных решений, организации режимов работы систем и методов их автоматизации, повышения экономической эффективности систем. За последнее время по этим вопросам опубликованы работы Б.В. Баркалова, В.Н. Богословского, [9,10,11,12] А.А. Гоголина, М.И. [14] Гримитлина, Л.М. Зусмановича, Е.Е. Карписа, О.Я. Кокорина, А.Я. Креслия, [24,25,26] С.В. Нефелова, [27] В.И. Прохорова, А.Г. [38] Сотникова, Е.В. [45,46] Стефанова, П.В. [47] Участкина, В.Н. Языкова и др. Ряд работ посвящен решению комплексных задач, связанных с выбором и проектированием систем.

Однако до сих пор при решении основных оптимизационных задач СВ и КВ вопросы системного анализа не получили полного отражения, как, например, в "большой" энергетике [1, 22 и др.]. В связи с этим на практике при проектировании систем, разработке отдельных элементов, выборе методов и средств автоматизации встречаются случаи односторонней оценки тех или иных решений без должного обоснования их оптимальности для заданных конкретных условий.

Учет множества факторов, влияющих на решение систем, весьма сложен в связи с противоречивостью их воздействия на технико-экономические показатели. Известно, например, что в ряде случаев экономия электроэнергии или топлива приводит к увеличению капитальных затрат, к перерасходу металла. Но количественная оценка соотношений этих затрат весьма затруднительна, их численные значения могут колебаться в весьма широких пределах в зависимости от выбора схемных решений и режимов работы за годовой цикл эксплуатации систем. Системный анализ позволяет не только найти оптимальное для данных условий решение систем в целом, но и оценить

влияние на технико-экономические показатели множества различных факторов.

В основу излагаемого в данной книге метода системного анализа положен ряд примеров, позволяющих не только снизить размерность оптимизационных задач, но и определить степень влияния существенных параметров на условия функционирования систем.

Принимая для выяснения поведения СВ и КВ за годовой цикл эксплуатации функциональный анализ на основе термодинамической модели, удалось выявить взаимосвязь комплекса технико-экономических показателей, наметить пути целенаправленного перебора конкурирующих вариантов, определить отдельные резервы улучшения качества решений систем. При этом обоснована иерархическая структура оптимизационных задач, направленных на поддержание нормируемых параметров воздушной среды в помещении в результате осуществления комплекса технических мероприятий.

В целом метод целесообразно использовать не только для поиска оптимального решения вновь проектируемых систем, но также для выявления и реализации неиспользуемых резервов уже существующих систем и систем, подлежащих реконструкции. Метод в равной степени относится к оптимизации как систем кондиционирования воздуха (СКВ), так и систем общеобменной вентиляции (СВ). По этой причине из двух сокращенных обозначений этих систем (в связи с традиционно существующей терминологией) в дальнейшем там, где не требуется детализация, используется одно обозначение - СКВ.

Важное значение метода состоит в том, что он позволяет обосновать требования к типовым решениям систем для характерных объектов с учетом условий привязки схем и организации режимов функционирования в зависимости от климатического района. При этом имеется в виду возможность использования для управления технологическими процессами СКВ средств вычислительной техники в тех случаях, когда это оправдывается существенным снижением энергетических затрат.

Метод системного анализа позволяет обосновывать требования к оборудованию и элементам систем, исходя из условий улучшения показателей систем в целом. В ряде случаев решение этих задач связано с необходимостью пересмотра существующих методик расчета отдельных видов оборудования и элементов.

В целях интенсификации труда при проектировании оптимальных систем значительная часть вычислительных операций выполняется с использованием ЭВМ.

Глава первая. Принципы и задачи исследования энергосбережения при кондиционировании микроклимата

1.1 Анализ обоснованно-необходимого расхода энергии при кондиционировании микроклимата

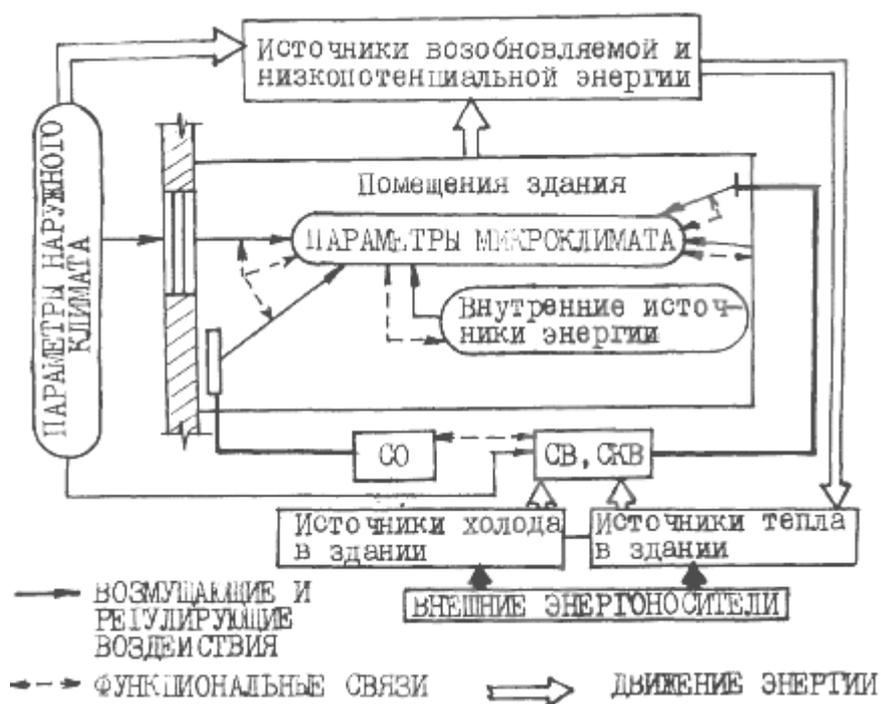
Характеристику энергосберегающих мер следует предварить пояснением некоторых понятий, используемых в работе, функциональное назначение СКМ состоит в обеспечении заданных параметров микроклимата в зданиях. Здание, как энергетическая система, представляет собой совокупность помещений, каждое из которых в общем случае характеризуется индивидуальными особенностями микроклимата. Параметры внутренней среды формируются в условиях теплового, влажностного и воздушного режима помещений. Процессы трансформации потоков тепла, влаги, воздуха (газов) находятся внутри помещения во взаимосвязи. Перенос потоков из помещения в помещение, обусловленный воздушным режимом, связывает помещения между собой, образуя единый организм здания.

Особенностью гражданских зданий является наличие достаточного числа помещений, аналогичных по назначению, архитектурно-планировочным и конструктивным параметрам, нормируемым параметрам микроклимата и режиму функционирования. Эта особенность позволяет существенно упростить структуру здания, выделив в нем ограниченное число однотипных помещений и сократить до минимальных размеров необходимое число связей между помещениями, что облегчает задачу моделирования процессов формирования микроклимата. В такой постановке задача сводится к рассмотрению процессов, протекающих в представительном помещении с учетом ограничений, обусловленных окружающими его помещениями.

Основным параметром теплового микроклимата гражданских зданий

является температура воздуха. В гражданских зданиях, в отличие от промышленных, для которых характерен большой объем помещений и перемещение значительных объемов воздуха в них и между ними, воздействие воздушного режима на формирование температуры воздуха оказывается косвенным - посредством конвективных тепловых потоков, вносимых в помещение. Это определяет превалирующий характер теплового режима в формировании микроклимата помещений. Именно тепловой режим помещений в гражданских зданиях составляет основу рассмотрения режима работы.

СКВ. Понятие СКМ сформулировано выше. Структурная схема СКМ приведена на рис.1.1.



Структура энергопотребления на кондиционирование микроклимата

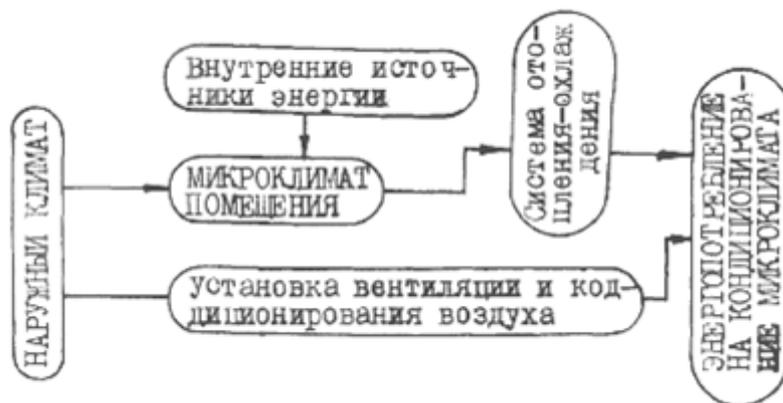


рис.1.2.

Формирование температурных параметров в помещении обусловлено трансформацией возмущающих и регулирующих тепловых потоков, вносимых в помещение через наружные и внутренние ограждения, от внутренних источников и систем отопления-охлаждения и вентиляции. Обеспечение заданных температурных условий достигается горячей в помещение определенных потоков тепла (холода), которые будучи регулирующими воздействиями, нейтрализуют тепловые возмущения.

Системы отопления, вентиляция и кондиционирования воздуха составляют активную часть СКМ. Наружные и внутренние ограждения, оборудование помещения, участвуя в процессах передачи, поглощения и выделения тепловых потоков, также принимают участие в формировании параметров микроклимата. Именно поэтому, в качестве пассивной части, они составляют систему кондиционирования микроклимата.

В процессе функционирования СО, СВ или СКВ, составляющие СКМ, потребляют энергетические ресурсы в виде тепловой и электрической энергии, водопроводной воды. Потребление энергии осуществляется от первичных или внешних источников, вторичных, как правило, утилизированных и возобновляемых источников.

Потребление энергоресурсов элементами СКМ определяется совокупностью достаточно большого числа факторов и перемененно во времени и суток года. При оценке энергетической эффективности отдельных энергосберегающих

мероприятий необходимо показать достаточно полно и объективно характеризующие качество энергетической системы.

Такой характеристикой представляется годовой расход энергии системой, учитывающий всю совокупность режимов энергопотребления в течение полного цикла работы, каковым является год. В свою очередь частные годовые расходы определяются интегрированием функции потребляемой мощности во времени года $N_1(Z)$ в пределах элемента от Z_1 до Z_2 .

$$N_{\text{год}} = M_c \int_{Z_1}^{Z_2} N(Z) dZ, \quad \text{кВтч}$$

где M_c – суточная продолжительность работы элемента, ч.

При сопоставлении вариантов системы с целью выбора энергетически целесообразного, критерием служит минимальный годовой расход энергии системой

$N_{\text{год}} \rightarrow \text{мин}$

Для того, чтобы использовать понятие минимального расхода энергии в качестве критерия энергетической целесообразности, необходимо сформулировать смысл этого понятия.

Энергетическая эффективность термодинамических систем, каковыми являются СВ и СКВ, оценивается с помощью энергетического и эксергетического коэффициентов полезного действия. А.А.Рымкевич [41,42] для оценки энергетической эффективности СКВ использовал понятие минимальных неизбежных расходов энергии. А.Я.Креслин [24,25,26] предлагает пользоваться для этой цели величиной приведенных энергетических затрат идеальной СКВ. Представляется целесообразным распространить подобный подход на систему кондиционирования микроклимата в целом.

Влияние наружной и внутренней среды на первую часть энергопотребления является косвенным и проявляется через посредство теплового режима

помещений. Связь второй части энергопотребления с параметрами наружной среды является прямой. Следует отметить, подчиненность процессов термодинамической обработки воздуха процессам формирования температурных условий в помещении, а следовательно— влияние первой части расхода энергии на вторую. Причем, снижение первой части расхода энергии на КВ не всегда сопровождается сокращением второй части. Поэтому вывод о целесообразности энергосберегающих мер должен исходить из условия минимизации суммарного энергопотребления. Минимально неизбежный расход энергии при обработке воздуха в СВ и СКВ достигается за счет технологии кондиционирования, исключающей одновременное осуществление таких взаимопротивоположных процессов, как охлаждение и нагрев, осушение и увлажнение воздуха.

Применительно к первой части энергопотребления, которое направлено непосредственно на кондиционирование теплового микроклимата в помещении, правильнее говорить не о минимально-неизбежном, а об обоснованно необходимом расходе энергии. Принятое уточнение исходит из того, что расход энергии на КМ зависит от большого числа параметров, многие из которых имеют технические, гигиенические и экономические ограничения. Достижимый с учетом таких ограничений расход энергии не является неизбежно минимальным.

Для определения обоснованно-необходимого расхода энергии используется понятие тепловой нагрузки (ТН) на СКМ. Под тепловой нагрузкой понимается часть суммы тепловых потоков, вносимых в помещение, которую необходимо нейтрализовать активными средствами формирования микроклимата, т.е.с помощью систем, потребляющих энергию.

В этом смысле тепловая нагрузка определяет требуемую тепловую мощность и необходимое энергопотребление системой.

Приведенное определение означает, что для обеспечения заданной температуры воздуха СО, СВ или СКВ не обязательно должны нейтрализовать всю сушу тепловых избытков или потерь, сложившихся в помещении в данный момент времени. При периодическом режиме функционирования помещений часть тепловых возмущений нейтрализуется пассивными элементами СКМ за счет поглощения в рабочее время и выделение в нерабочее время или наоборот.

Тепловая нагрузка формируется в определенных условиях и при соответствующих исходных данных. Под условиями формирования ТН понимается режим функционирования помещения и характер изменения в нем температуры воздуха. Под исходными данными понимаются прежде всего величины тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения и поступающие от внутренних источников. Обоснованным является минимальный расход энергии, возможный при соответствующих исходных данных и условиях формирования ТН, которые определяются с учетом ограничений.

Обоснованно – необходимый расход энергии является основным признаком, характеризующим энергосбережение, которое обеспечивается с помощью энергосберегающих мер.

Технические и гигиенические ограничения энергосберегающих мер определяют область их возможного применения, экономические ограничения вытекают из требования их целесообразности.

Критерием для выбора экономически целесообразного варианта служит, как известно, минимум приведенных затрат которые определяются с учетом срока службы разнородных элементов СКМ.

При оценке экономической целесообразности энергосберегающих мер в ряде случаев оказывается достаточно оценить срок окупаемости

дополнительных капиталовложений T , который должен быть менее нормативного $T_{\text{нор}}$.

$$T = \frac{\Delta C}{\Delta \mathcal{E}} < T_{\text{нор}} \quad (1.1)$$

где ΔC - дополнительные капиталовложения, сум;

$\Delta \mathcal{E}$ - экономия средств на расходуемые энергоресурсы, сум/год

Обоснование энергосберегающих мер базируется на анализе режим а работы СКМ, который формируется под воздействием многих факторов, проявляющихся во времени непрерывно или дискретно. К числу определяющих факторов относятся время работы системы в течение суток, зависящее от назначения здания или помещения, время работы системы в течение года, связанное с назначением системы отопления-охлаждения. Режим работы системы определяется характером изменения во времени тепловой, влажностной или газовой нагрузки на систему, связанным с режимом функционирования помещения и изменением во времени параметров микроклимата помещения и наружного климата.

Перечисленные факторы, формирующие режим работы, в основном очерчивают круг *вопросов, связанных с* рассмотрением энергосбережения в СКВ.

1.2 Характеристика энергосберегающих мер

Раскрытое выше содержание обоснованно-необходимого расхода энергии определяет основную задачу энергосбережения при КМ, которая состоит в выборе и обосновании мер, направленных на формирование ТН на СО, СВ и СКВ, соответствующих минимальному суммарному годовому расходу энергии. Энергосбережение достигается прямым путем - снижением тепловой нагрузки на системы и косвенно, когда сокращение суммарного энергопотребления

достигается за счет уменьшения второй части расхода энергии, связанного с обработкой воздуха в СВ и СКВ.

Меры, направленные на снижение тепловой нагрузки на системы вытекают из рассмотрения факторов, определяющих ее величину и условия ее формирования. ТН складывается из тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения и поступающих от внутренних источников. Тепловые потоки, проходящие через наружные ограждения, зависят от параметров последних. Поступая в помещение, тепловые потоки трансформируются в процессе теплообмена. Важная роль в теплообмене, протекающем в помещении, принадлежит внутренним ограждениям. Поэтому анализ влияния параметров наружных ограждений на энергопотребление должен строиться на рассмотрении теплового режима в помещении в целом. Влияние тепловых потоков от внутренних источников на ТН может быть существенным, а часто – определяющим. Возрастание роли внутренних тепловых возмущений снижает значимость тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения, что вносит соответствующие коррективы в оценку влияния параметров ограждений на энергопотребление. Следует иметь в виду, что характер внутренних тепловых воздействий на макроклимат связан с режимом функционирования помещения и видом обслуживаемых систем. Т.е. получение достоверного представления о влиянии конструкции здания и его ограждений на энергопотребление для КМ возможно только на основе комплексного рассмотрения всех элементов СКМ с учетом существующих в структуре системы связей. Связующим элементы энергетической системы в данном случае является тепловой режим помещения, рассмотрение которого преследует цель определения тепловой нагрузки. Обоснованный выбор конструктивных параметров здания предоставляется одной из важных энергосберегающих мер. Среди архитектурно-планировочных решений здания можно выделить некоторую подгруппу, составляющую предмет отдельного рассмотрения. К ней относятся решения, рассматривающие совмещение

функций ограждений и систем отопления-охлаждения и вентиляции. Совмещение функций систем и ограждений как двух частей СКМ позволяет активизировать пассивную часть системы, снять часть тепловой нагрузки с активной системы и, таким образом, понизить потребление энергии. Среди подобных берегающих мер можно выделить использование вентилируемых окон и вентилируемых междуэтажных перекрытий. В первом случае за счет утилизации тепла выбросного воздуха достигается снижение тепловой нагрузки на СО и СВ или СКВ. Во втором – за счет аккумуляции "ночного" холода понижается тепловая нагрузка на СВ в теплое время года.

Использование аккумуляции тепла ограждениями относится к числу энергосберегающих мер, создающих условия формирования пониженной тепловой нагрузки на системы. К таким можно отнести также ночное проветривание помещений, позволяющее понизить тепловую нагрузку на СВ и СКВ в теплое время года. В холодное время года в ТН на СВ и СКВ входит тепловой поток от дежурной системы отопления. В гражданских зданиях обычно допускается понижение температуры воздуха в ночное время, позволяющее уменьшать тепловую мощность СО. Снижение тепловой мощности СО приводит к сокращению ТН на СВ или СКВ, работающую в дневное время, что обеспечивает сокращение общего расхода энергии системами. Определение условий, в которых формируется пониженная тепловая нагрузка, связано с рассмотрением процессов теплообмена в помещении и в значительной мере зависит от режима его функционирования.

Снижение тепловой нагрузки на элементу СКМ составляет первую группу энергосберегающих мер.

Вторая группа мер направлена на осуществление энергосберегающих режимов работы систем, которые достигаются регулированием мощности в эксплуатационных условиях. Следуя принятому определению энергосбережения, ограничимся рассмотрением таких режимов работы СО, СВ и СКВ, которые непосредственно связаны с процессом формирования тепловой

нагрузки. К числу таких относится периодический режим включения и выключения систем в течение рабочей части суток. При периодическом режиме сокращается общая продолжительность работы системы за сутки и достигается экономия энергии. Периодическое включение систем вызывает колебания параметров микроклимата. Возможность осуществления периодических режимов следует обосновывать исходя из допустимых ограничений колебаний, что требует рассмотрения нестационарного теплового режима помещения. На периодический режим вентиляции дополнительные ограничения налагаются колебаниями газового состава воздуха. Колебания параметров микроклимата, прежде всего температуры воздуха, обусловлено комплексом факторов, определяющих тепловой режим помещения. Поэтому область возможного применения периодического отопления и вентиляции ограничена определенным уровнем теплозащиты помещения, сочетанием параметров наружной среды, уровнем и режимом внутренних тепловыделений. Иными словами, обоснование периодической работы систем требует рассмотрения всей совокупности связей, существующих в СКМ.

Другим энергосберегающим режимом СВ и СКВ представляется работа систем с переменным расходом воздуха. Эффективность такого способа регулирования зависит от допустимого понижения расхода воздуха, на которое налагаются ограничения. Повышение эффективности систем с переменным расходом, воздуха возможно за счет расширения пределов ограничений. Режим изменения расхода воздуха определяется режимов изменения ТН на СВ или СКВ. Поэтому поиск путей повышения эффективности СВ и СКВ в переменным расходом воздуха не может вестись без рассмотрения теплового режима помещения и режима работы дежурных систем отопления. Из приведенного краткого описания двух групп энергосберегающих мер следуют два условия, составляющие основу обоснования мер. Первое исходит из необходимости комплексного рассмотрения факторов и элементов здания, участвующих в формировании микроклимата. Второе указывает на

необходимость детального анализа теплового режима помещения, позволяющего установить связи в процессе формирования теплового микроклимата. Практическое осуществление энергосберегающих мер подразумевает применение энергосберегающего оборудования. Использование энергосберегающего оборудования СО, СВ и СКВ традиционно выделяется в отдельную подгруппу мер по сокращению энергопотребления. Вообще само собой разумеется, что оборудование должно обладать качественными показателями, обеспечивающими наименьшие потери энергии, а его номенклатура -представлять возможность реализации широкого круга энергосберегающих мер. В первую очередь, сказанное относится к обычным видам оборудования СО, СВ и СКВ, т.к. именно в структуре обычных систем может быть достигнут наибольший экономический эффект от энергосбережения.

Вопросы, связанные с эффективностью оборудования находятся вне рамок работы и не рассматриваются.

Использование возобновляемых источников как и утилизация отбросной энергии является дополнительным средством сокращения энергопотребления, позволяющим уменьшить прямой расход энергии. Проблеме вовлечения возобновляемой энергии в процесс КМ посвящено большое количество исследований. По общему мнению, использование возобновляемых источников энергии не является самой насущной проблемой, гребущей безотлагательного решения на современном этапе развития техники. Из-за достаточно высокой стоимости и относительно низкой эффективности оборудования для использования возобновляемых источников энергии, их привлечение для КМ имеет ограниченную экономическую целесообразность. Сказанное не означает, что сейчас отсутствует необходимость в проведении соответствующих исследований. Наряду с разработкой технической базы, немаловажной является задача методологического обеспечения вовлечения возобновляемой энергии в структуру СКМ.

1.3 Методы расчета годового расхода энергии и требования, предъявляемые к модели годового изменения параметров наружного климата

В качестве основной показателя, определяющего энергетически к эффективность СКМ, принят годовой расход энергии на КМ.

Имея в виду важность годовых расходов в оценке качества СКМ, их прогнозировании придается важное значение, о чем свидетельствует обширная библиография по этому вопросу в отечественной и зарубежной литературе. Одной из первых работ, в которой анализировалось влияние теплозащиты наружных ограждений и климатических факторов на годовой расход тепла на отопление, является работа Л.Сальмоновича [45]. Нормативный и производные от него методы расчета расхода тепла на используют среднюю температуру отопительного периода и его продолжительность. Этот метод не позволяет учесть воздействие на потребление энергии всего комплекса климатических параметров и его применение ограничено случаем централизованного отпуска тепла на отопление по графику качественного регулирования. Учету совокупного действия климатических параметров на характеристики отопительного периода посвящены исследования, проведенные в ГГО им Воейкова Л.С.Гандиным и Л.З.Анапольской [7].

Другая группа методов расчета годовых затрат энергии на СВ и СКВ использует данные о среднемесячных параметрах наружного воздуха. Оба подхода к представлению климатических параметров используются в методах расчета годовых расходов энергии на кондиционирование микроклимата, принятых за рубежом. Из приведенного краткого обзора работ видно, что основным вопросом, возникающим при определении годовых расходов энергии является вопрос представления закономерностей изменения во времени года климатических параметров.

Как отмечалось выше, расход энергии на кондиционирование микроклимата складывается из двух частей. Первая часть, связанная с стабилизацией параметров теплового микроклимата в помещении, определяется величиной тепловой нагрузки на систему. Изменение тепловой нагрузки на СКМ в течение года связано с переменным характером тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения, которые, в свою очередь, определяются годовым ходом параметров наружного климата.

Тепловые потоки, проходящие через наружные ограждения обусловлены температурой наружного воздуха, интенсивностью солнечной радиации, скоростью ветра. Воздействие параметров на тепловую нагрузку носит комплексный характер, что необходимо учитывать при выборе наружноклиматической модели.

Вторая часть расхода энергии связана с обработкой воздуха в аппаратах СВ и СКВ и определяется параметрами наружного воздуха - температурой и влажностью или температурой и энтальпией. Совместное воздействие температуры и влажности воздуха на режим потребления энергии также определяет необходимость комплексного учета этих параметров. Для определения общего расхода воздуха должна быть установлена корреляционная связь первой группы параметров наружного климата со второе. Изложенные выше соображения относительно параметров наружного климата и комплексного характера их воздействия на потребление энергии составляет суть первого требования, предъявляемого к модели годового изменения наружного климата.

Второе требование к модели исходит из необходимости охвата возможно более широкого диапазона изменения параметров наружного климата. Третье требование, которое представляется определяющим, состоит в обеспечении доступности исходной климатологической информации, простоты ее обработки и наглядности представления.

Используемые в настоящее время для расчета затрат энергии модели изменения во времени года параметров климата используют два вида представления климатологической информации.

Второй вид представления климатологической информации использует обработку срочных измерений в виде функций распределения параметра функции распределения задается в табличной форме в виде графиков или аппроксимируются аналитическими зависимостями. Такой вид представления климата встречает определенные трудности. Во первых, требуется сложная обработка метеоданных, во вторых, возникает трудность принципиального характера, которая состоит в необходимости оперировать двух-трехмерными распределениями параметров. При этом неизбежно привлечение громоздкого математического аппарата который к тому же строится на существенных допущениях в постановке задачи. Вместе с тем, второй вид модели климата имеет несомненное преимущество перед первым, состоящее в том, что в ней заложен весь диапазон изменения параметров. При осреднении параметров климата диапазон изменения параметров сокращается, что представляет недостаток первой модели. Однако, осреднение исключает разного рода помехи и позволяет выделить основную закономерность изменения параметра во времени, вытекающую из физической сущности процессов, формирующих параметр. Это является определенным преимуществом первой модели. Ко главным ее преимуществам представляется простота представления функций времени параметров и большой объем доступных исходных данных. Уменьшенный диапазон параметров, заданных средними значениями, не является препятствием для их использования в анализе годового режима работы систем, т.к. переход от режима к режиму происходит как правило при "умеренных" значениях параметров. Лишь некоторые режимы работы систем, не являющиеся показательными с точки зрения энергопотребления, протекают при значениях параметров климата, близких к экстремальным.

Следует отметить, что при расчете годовых затрат энергия системами нет надобности вовлечения в анализ значение параметров, близких к экстремальным. На это обстоятельство справедливо указывал А.М.Сизов [27]. Если иметь в виду, что средняя часть функции распределения совпадает с среднемесячными значениями, то отмеченное преимущество первой модели значительно скрадывается. Вместе с тем, при определении годовых расходов энергии с помощью функций распределения имеется принципиальная некорректность, которая будет указана ниже при рассмотрении обеспеченности годовых расходов энергии.

Изложенная оценка двух подходов к представлению модели годового изменения параметров климата позволяет считать первую модель в большей степени удовлетворяющей требованиям настоящей работы. Основу принятое в дальнейшем модели наружного климата составляют средние многолетние данные. Расширение диапазона, вовлекаемых в рассмотрение параметров климата, возможно на основе учета междугодовой изменчивости средних значений параметров. В связи с этим возникает задача разработка метода обработки климатических параметров, позволяющего раскрыть распределенность параметров по годам с учетом их комплексного действия.

1.4 Цели и задачи исследования

Вопросам моделирования теплового режима помещения посвящена многочисленные отечественные [9,10,11,12,13,17,18] и зарубежные исследования [8,14,15,16,25,26].

Известные математические модели исходят из постановки задачи теплообмена в помещении, которая базируется на общих закономерностях теплопередачи. Различия в постановке задачи, связаны с предназначением

разрабатываемой модели и сводятся в основном к разной степени детализации граничных условий и исходных данных. Имеется значительное разнообразие в методах решения уравнений теплообмена в помещении.

Чтобы сформулировать постановку задачи теплового режима помещения необходимо определить исходные требования, предъявляемые к искомой математической модели. Модель теплового режима помещения, удовлетворяющая требованиям настоящего исследования, должна носить аналитический характер, позволяющий на ее основе разрабатывать методы расчета отдельных процессов КМ. Вместе с тем, от модели, на базе которой предполагается анализировать режимные, т.е. как правило, качественные характеристики, не следует требовать высокой точности. Это позволяет принять ряд допущений в постановке задачи, преследующих цель упрощения расчетных зависимостей.

К числу основных допущений относятся следующие.

1. Поверхности в помещении рассматриваются как изотермические без источников и стоков тепла.
2. Температура воздуха характеризуется равномерным распределением в плане и по высоте помещения.
3. Источники и стоки тепла в помещении являются сосредоточенными, диффузными, что позволяет считать суммарный тепловой поток, поступивший в помещение, распределенным по поверхностям ограждений пропорционально их площади.

Помимо указанных, справедливы другие упрощения, традиционные для постановки задачи теплового режима помещения и связанные с линейностью граничных условий, независимостью теплофизических характеристик материалов ограждений от температуры и позволяющие вести расчет лучистого теплообмена по инженерным формулам.

Принятые основные допущения позволяют составить систему уравнений теплообмена в помещении, которая по терминологии Ю.А. Табунщикова [47]

соответствует модели с частично распределенными параметрами. В систему уравнений входят

- уравнение баланса конвективного тепла в воздухе помещения

$$V \left(\frac{c}{3.6} \rho \right)_B \frac{dt_B}{dz} = \sum \alpha_{ki} F_i (t_i - t_B) + \mathcal{L} \left(\frac{c}{3.6} \rho \right)_B (t_{np} - t_B) + Q_k(z) \quad (1.4)$$

- уравнения теплопроводности в поверхностных слоях ограждений (оборудования) помещения

$$\frac{dt_i}{dz} = a_i \frac{d^2 t_i}{dz^2}; \quad (1.5)$$

- уравнения теплообмене на поверхностях ограждений и оборудования

$$\lambda \frac{dt_i}{dx} = \alpha_{ki} (t_i - t_B) + \sum \alpha_{\lambda i-j} (t_i - t_j) + q_\lambda(z) \quad (1.6)$$

Реализация принятой постановки задачи связана с решением системы уравнений, которое аналитическим путем практически неосуществимо. Желание иметь аналитический метод расчета теплового режима предполагает дальнейшее упрощение постановки задачи. Примем дополнительно следующие допущения.

4. Помещение окружено другая с полностью аналогичный тепловым режимом. При этом внутренние ограждения с тепловой точки зрения является симметрично нагруженными с обеих сторон. В таких ограждениях процессы поглощения и выделения тепла в нестационарных условиях распространяются до тепловой оси симметрии без стока в соседние помещения. Принятое допущение позволяет рассматривать внутренние ограждения как нейтральные отражатели тепловых потоков, поступающих в помещение, в частности, лучистых, что значительно упрощает задачу расчета лучистого теплообмена в помещении.

5. Все поверхности ограждений в помещении делятся на наружные с температурой $t_{н.0}$ и площадью $F_{н.0}$ и внутренние с температурой $t_{в.0}$ и площадью

$F_{в.о.}$. При этом считается, что температура всех внутренних ограждений близка и мало отличается от температуры воздуха. Такое допущение позволяет свести систему уравнений теплового баланса на поверхностях к уравнению теплообмена внутренних и наружных поверхностей.

б. В помещении отсутствуют нагретые (до температуры свыше 25°C) или охлажденные (ниже 10°C) развитые поверхности. Это допущение позволяет сузить диапазон изменения температуры поверхностей в помещении. Необходимость допущения вытекает из предшествующего допущения по п.5 и направлено на уменьшение погрешности при вычислении коэффициентов теплообмена на поверхностях.

Коэффициент лучистого теплообмена поверхности, окруженной другими поверхностями в помещении, в указанном диапазоне температуры может быть принят равным $\alpha_{\lambda i} = 4,9 \text{ Вт/м}^2\text{C}$ с погрешностью до 5%.

Коэффициент конвективного теплообмена на поверхностях в помещении определяется для условий естественной конвекции [5]

$$\alpha_{ki} = A_i \sqrt[3]{t_g - \tau_i} \quad (1.7)$$

где A_i – коэффициент, определяющий положение поверхности относительно проходящего через нее теплового потока, $\text{Вт/м}^2\text{C}^{4/3}$.

Нелинейность формулы (1.7) может существенно сказаться на результатах расчета температуры воздуха. Чтобы внести необходимые коррективы в расчет коэффициента конвективного теплообмена, преобразуем исходные формулы к удобному для целей настоящей работы виду. Плотность тестового потока, проходящего через поверхность с учетом (1.7) равна

$$q_k = \frac{Q_{ki}}{F_i} = A_i (t_g - \tau_i)^{1,33}$$

откуда

$$\alpha_k = A^{0,754} \sqrt[1]{|q_k|}$$

Чтобы определить величину α_k , надо подставить в (1.8) величину q_k , которая, как правило, заранее неизвестна и может быть установлена после решения системы балансовых уравнений теплообмена в помещении.

В соответствии с принятыми допущениями могут быть выделены несколько принципиальных схем теплообмена в помещении в направлении от источников к стокам тепла.

На рис.1.3 показано направление потоков лучистого тепла. Источниками лучистого тепла являются поверхности внутреннего оборудования, отопительных приборов, поглощенное тепло солнечной радиация, поступающей в помещение через окна. Сток лучистого тепла осуществляется на поверхности наружных ограждений (в холодное время года при $t_{н.о} < t_{в.о}$) (рис.1.3.а) или конвекцией в воздух (в теплое время года, когда $t_{в.о} > t_{н.о}$). В переходное и частично в теплое время года, возможен третий случай (рис.1.3.б), когда сток осуществляется как на наружное поверхности, так и в воздухе ($t_{в.о} > t_{в} > t_{н.о}$).

На рис.1.4 указаны схемы конвективного теплообмена в помещении, Источниками тепла являются оборудование помещения, отопительные приборы, приточный воздух. Последний, в зависимости от температуры $t_{пр}$ может быть наряду с наружной поверхностью стоком тепла. Первая схема (рис.1.4 в), в которой единственным стоком тепла является наружная поверхность, возможен в холодное время года. Наиболее часто встречающимся является второй случай теплообмена, когда сток конвективного тепла осуществляется в приточный воздух ($t_{пр} > t_{в}$) и на наружной поверхности. Эта схема теплообмена (рис.1.4.б) наблюдается в холодное время года при повышенной тепловой мощности системы отопления он распространен в переходные периоды года и может быть в отдельные периоды теплой части года. Третий случай (рис.1.4.в) теплообмене, когда избыточное конвективное тепло ассимилируется лишь приточным воздухом, присущ теплоте времени года.

Приведенная систематизация теплообмена в полной мере справедлива для установившегося теплового режима помещения и отдельного рассмотрения лучистых и конвективных тепловых потоков. В процессе нестационарного теплообмена в течение относительно непродолжительного времени возможен переход от одной схемы к другой или смешение схем. Приведенное физическое представление теплообмена позволяет определить обобщенные тепловые характеристики помещения, вытекающие из уравнения конвективного теплообмена в помещении

$$\sum Q_{ki} = \sum F_i \alpha_{ki} (t_b - t_i) \quad (1.9)$$

Принятые допущения позволяют определить величину $\sum Q_{ki}$ в виде

$$\sum Q_{ki} = \bar{q}_k \sum F_i$$

где $\sum F_i$ – сумма площадей поверхностей, обращенных в помещение, м² Правая часть (1.9) с учетом (1.8) преобразуется к виду

$$\sum F_i \alpha_{ki} (t_b - t_i) = \sqrt[4]{|\bar{q}_k|} \sum F_i A_i^{0,75} \left(t_b - \frac{\sum F_i t_i}{\sum F_i} \right)$$

Коэффициент $A_i^{0,75}$ для вертикальных поверхностей равен 1,46, для горизонтальных 1,12 или 1,78 в зависимости от направления потока тепла, проходящего через поверхность. Имея в виду допущение о близости температуры внутренних ограждений, можно показать, что для пары горизонтальных поверхностей одинаковой площади $F_{гор}$ (пол и потолок) в помещении справедливо примерное равенство

$$1,12 F_{гор} t_1 + 1,78 F_{гор} t_2 \approx 1,46 F_{гор} (t_1 + t_2)$$

Тогда

$$\sum F_i \alpha_{ki} (t_b - t_i) = \sqrt[4]{|\bar{q}_k|} \cdot 1,46 \sum F_i \left(t_b - \frac{\sum F_i t_i}{\sum F_i} \right) \quad (1.10)$$

Из формулы (1.10) выделим, величину

$$\alpha_n = 1,46 \sqrt[4]{|\bar{q}_k|} \sum F_i = 1,46 \sqrt[4]{\frac{Q_k}{\sum F_k}} \sum F_i = \bar{\alpha}_k \sum F_i \quad (1.11)$$

Схемы лучистого теплообмена в помещении

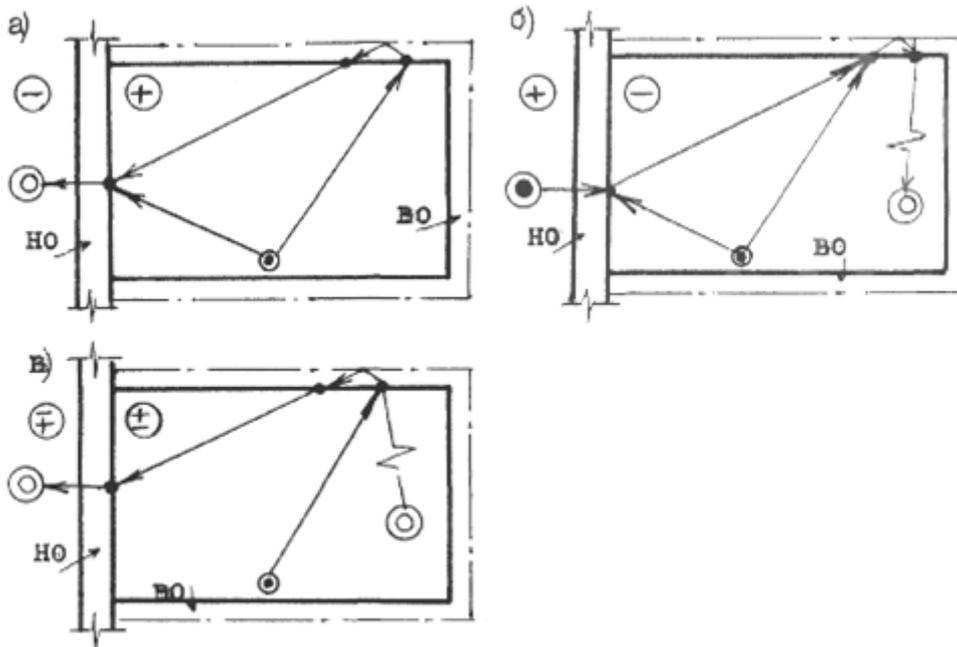


рис.1.3.

Схемы конвективной теплообмена в помещении

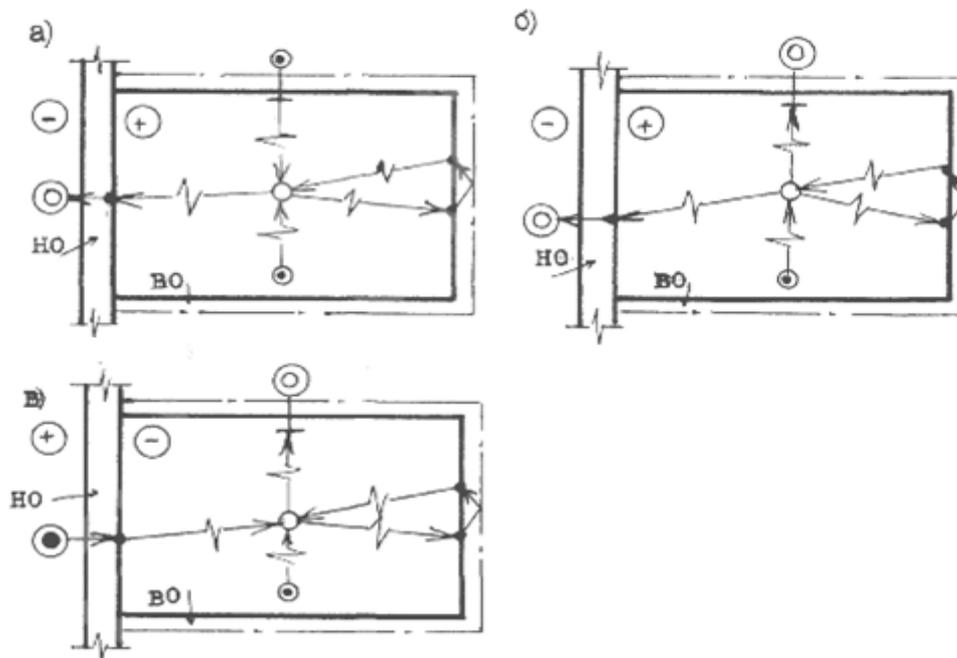


рис.1.4.

которая является показателем конвективного теплообмена помещения. В формуле (1.10) величина

$$t_R = \frac{\sum F_i t_i}{\sum F_i} \quad (1.12)$$

представляет собой радиационную температуру помещения.

С учетом (1.11) и (1.12) уравнение (1.4) приобретает

$$\text{вид } V \left(\frac{c}{3,6} \gamma \right)_B \frac{dt_B}{dz} = \Lambda_n (t_R - t_B) + \alpha \left(\frac{c}{3,6} \gamma \right)_B (t_{np} - t_B) + Q_k(z) \quad (1.13)$$

Принятые допущения и представление условий теплообмена в помещении позволяют значительно упростить постановку задачи сведением системы уравнений (1.4)–(1.6) к системе, состоящей из трех уравнений: баланса конвективного тепла (1.13), теплообмена на наружной поверхности ограждения и уравнения изменения радиационной температуры помещения t_R . Последнее уравнение может быть получено по (1.12) на основе решения уравнения теплопроводности (1.5). Методология решения уравнения теплопроводности служит основным признаком классификации методов расчета теплового режима помещения. В рамках настоящей работы не ставится задача анализировать или систематизировать известные методы решения уравнения теплопроводности, тем более что этому вопросу посвящены специальные исследования. Отметим лишь, что наибольшее распространение получили численные методы решения, основанные на конечно-разностном представлении уравнения теплопроводности, аналитические методы на основе интегральных преобразований, вариационного, операционного принципа, аналоговые методы расчета.

Среди известных методов решения выделим отдельно группу, основанную на одинаковых исходных посылах, которые состоят в представлении граничных условий в виде гармонических или периодически изменяющихся. В такой постановке по истечении определенного времени в конструкции ограждения устанавливается периодическое тепловое состояние, не зависящее от начального, которое часто называют квазистационарным.

Методы расчета теплового режима помещения, основанные на рассмотрении распространения температурных волн в конструкции ограждения, получили достаточно широкое распространение. Это объясняется относительно простотой аналитического решения. Правомочность использования решения для расчета теплового режима помещения связана с тем, что тепловые возмущения в нем носят периодический характер.

Основу теории теплоустойчивости составляет решение уравнения одномерной нестационарной теплопроводности (1.5) в гиперболических функциях комплексной переменной

$$t_x = e^{\frac{2\pi z i}{T}} \left(A \operatorname{ch} x \sqrt{\frac{2\pi i}{T}} + B \operatorname{sh} x \sqrt{\frac{2\pi i}{T}} \right) \quad (1.14)$$

где A и B – произвольные постоянные, T – период колебания, ч.

Относительно колебания температуры поверхности ограждения решение сводится к виду

$$t = q/y \quad (1.15)$$

где q – плотность периодического теплового потока, проходящего через поверхность, Вт/м²;

y – показатель теплоусвоения поверхности, разный для многослойного ограждения

$$\dot{y} = S\sqrt{i} \cdot \frac{\operatorname{th}RS\sqrt{i} + \frac{\dot{y}_{\text{гр}}}{S\sqrt{i}}}{1 + \frac{\dot{y}_{\text{гр}}}{S\sqrt{i}} \operatorname{th}RS\sqrt{i}} \quad (1.16)$$

S – коэффициент теплоусвоения материала поверхностного слоя, Вт/м²°С;

R – сопротивление теплопроводности поверхностного слоя, м²°С/Вт;

$\dot{y}_{\text{гр}}$ – показатель теплоусвоения поверхности слоя, следующего за поверхностным по ходу температурной волны.

Для гармонически изменяющегося теплового потока с амплитудой A_q уравнение (1.15) приводится к виду

$$t = t_0 + A_t \cos \left(\frac{2\pi}{T} z + \varepsilon \right) \quad (1.17)$$

где t_0 – среднее за период значение температуры поверхности, определяемое по законам стационарной теплопередачи, °С

A_t – амплитуда колебания температуры

$$A_t = \frac{A_q}{y} \quad (1.18)$$

E – запаздывание колебания температуры относительно колебания теплового потока, ч;

Значения величин y – коэффициента теплоусвоения и E – запаздывания колебания представляет собой модуль и аргумент комплексного числа \dot{y} определяются приведением последнего к алгебраическому виду $\dot{y} = a + bi$ по формулам

$$y = \frac{S}{2} \sqrt{a_y^2 + b_y^2} \quad (1.19)$$

$$\varepsilon = \arctg \frac{b_y}{a_y} \quad (1.20)$$

Уравнения (1.16), (1.17) составляют основу для разработки методов расчета нестационарного теплового режима помещения. Их дальнейшее развитие необходимо для представления расчетных зависимостей в форме, позволяющей разработать метод анализа режима работы СКМ.

Первое направление развития положений теории теплоустойчивости в рамках данного исследования связано с представлением граничных условий в виде периодических прерывистых функций времени: которые по нашему мнению в наибольшей мере приближаются к реальным. Второе направление исходит из потребности рассмотрения колебаний температуры в помещении во всем спектре частот тепловых воздействий. Эта задача связана с тем, что датчик работы СКМ проявляется в разных временных интервалах или при резной

частоте. Третье направление развития теории теплоустойчивости связано с расчетом температурных колебаний на поверхности инерционных теплообменных аппаратов, используемых в СКМ.

Глава вторая. Исследование теплового режима помещения.

Разработанная математическая модель теплового режима помещения служит основой для решения задач анализа режима работы СВМ. Можно выделить три характерных диапазона колебаний тепловых процессов в помещении. Процессы с малыми периодами (доли часа или часы) или высокими частотами имеют место при внесении возмущающих и регулирующих тепловых воздействий и являются предметом изучения для выявления динамических тепловых свойств помещения как объекта автоматического регулирования. Процессы, протекающие в помещении в этом временном интервале, носят ярко выраженный нестационарный характер и зависят от частоты колебания тепловых воздействий.

Второй временной интервал охватывает суточный период, соответствующий средней частоте колебания. Суточный период характерен для систематических колебаний внешних и внутренних возмущающих тепловых воздействий и цикличности работы систем. Поэтому при суточном периоде возможно проявление того или иного режима потребления энергии системами и их элементами. Предметом рассмотрения процессов в помещении с суточным периодом является выявление требуемой мощности систем и характера ее изменения во времени.

Низкие частоты колебания характерны для годового периода. Рассмотрение этого временного интервала позволяет выявить смену режимов потребления энергии и определить ее годовой расход.

В настоящем разделе рассматриваются вопросы расчета тепловой нагрузки и динамики тепловых процессов, протекающих в помещении,

т.е. две первые задачи расчета теплового режима помещения.

2.1 Условия формирования и составляющие тепловой нагрузки на СКМ

Понятие тепловой нагрузки определено выше. Для ее расчета необходимо раскрыть исходные данные, определяющие температурные условия и тепловые возмущения, и закономерности трансформации возмущающих и регулирующих тепловых потоков в объеме помещения.

Температура воздуха и радиационная температура не равнозначны с точки зрения возможностей их обеспечения. За счет теплоаккумуляционных свойств ограждений радиационная температура изменяется медленнее, чем t_v и на меньшую величину. В большинстве случаев t_R , как производная температуры поверхностей, является неуправляемой и ненаблюдаемой. Поэтому t_R не нормируется и при определении тепловой нагрузки на систему за исходный параметр следует принимать температуру воздуха.

Комфортные и технологические значения температуры воздуха нормируются в виде среднего значения t_v и допустимого отклонения $\pm \Delta t_v$. При рассмотрении тепловой нагрузки на систему, определяющей ее энергопотребление, следует учитывать направление отклонения параметра от среднего. Очевидно, что с точки зрения экономии энергии при работе системы в режиме компенсации недостатка тепла, целесообразно допускать снижение температуры от среднего значения, а при ассимиляции системой теплоизбытков - превышение.

Помимо вынужденных колебаний температуры, связанных с возму-

щающими воздействиями, возможно целенаправленное изменение их значений в течение суток. Так, при сменном режиме работы поддержание комфортных, а в ряде случаев и технологических параметров воздуха, допускается только в рабочее время. В нерабочее время температура может изменяться произвольно, не выходя за предельно допустимые (дополнительно обоснованные) значения. Изменения параметров микроклимата, осуществляемые по определенной закономерности, отказываются целесообразными и в рабочее время .

Составляющие тепловой нагрузки на системы отопления , вентиляции и кондиционирования воздуха

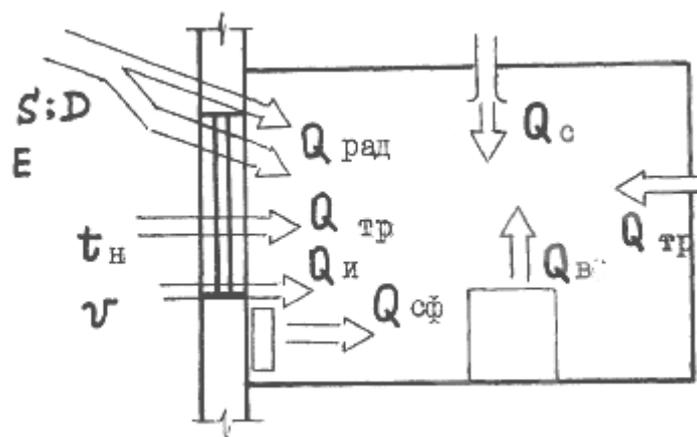


рис.2.1.

Представление функции изменения теплоступлений в виде суммы прерывистых

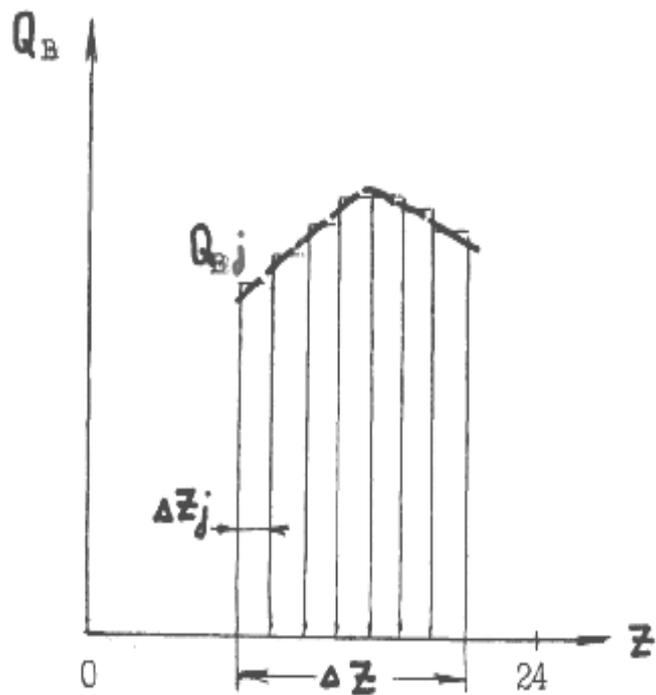


рис.2.2.

Виды тепловых возмущений, складывающихся нагрузки на систему по явному теплу показаны на рис.2.1. К их числу относятся тепловые потоки, проходящие через наружные и внутренние ограждения за счет теплопередачи $Q_{Тр}$, с потоком инфильтрующегося воздуха $Q_{и}$ и от солнечной радиации через окна $Q_{р}$. Для определения реакции помещения на тепловые возмущения необходимо знать закономерности изменения их во времени. Тепловые потоки, передаваемые наружными ограждениями, обусловлены параметрами наружного климата, изменение во времени которых поддается систематизации и рассматривается далее отдельно.

Второй составляющей тепловой нагрузки на систему являются тепловые потоки, поступающие в помещение от внутренних источников. Характер изменения этих потоков тепла зависит от технологического процесса и может быть систематизирован только в конкретном случае. Вместе с тем, при сменной работе выделение тепла внутренними источниками носит как правило

прерывистый характер и для описания его может быть использована прерывистая функция (1.18), либо композиция прерывистых функций (рис.2.2). Возможны другие способы задания функций времени рассматриваемой составляющей тепловой нагрузки.

Для системы, работающей параллельно с другой системой, составляющей тепловой нагрузки является тепловой поток, вносимый в помещение второй системой. Примером здесь может служить система кондиционирования воздуха, работающая в холодное время года совместно с системой отопления. В этом случае можно говорить об основной и фоновой системах. Возможны также случаи неоднородного режима работы системы в течение суток, как например, предварительное включение системы в форсированном режиме перед началом рабочей части суток с последующим переходом на рабочий режим, или работа системы в дневное и ночное время года с разноточной мощностью и т.д. Во всех этих случаях тепловая мощность системы во внеграбическом режиме может рассматриваться как составляющая тепловой нагрузки на основную систему в рабочем режиме.

Тепловые потоки, вносимые в помещение основной и фоновой системами, в общем случае изменяются во времени. При сменной работе тепловой поток, вносимый основной системой, можно рассматривать как прерывистый. Мощность фоновой системы, как правило, остается неизменной во времени суток.

Помимо явных, составляющих тепловой нагрузки на СКВ являются скрытые тепловые потоки. Скрытые теплотупления в помещение, связанные с влаговыделениями, не претерпевают столь существенной трансформации, как явные. При определении нагрузки по полному теплу величину скрытых теплотуплений следует прибавлять к нагрузке по явному теплу.

2.2 Теплообмен на наружных поверхностях ограждений и параметры наружного климата

Параметры наружного климата, обуславливающие тепловые потоки, проходящие через наружные ограждения - температура наружного воздуха t_n , скорость ветра V , интенсивной прямой S и рассеянной (в сумме с отраженной) D солнечной радиации. Помимо перечисленных параметров, оказывающих непосредственное действие на тепловой режим помещения, в ряде случаев следует учитывать эффективную температуру небосвода $t_{неб}$, а при рассмотрении режима термодинамической обработки приточного воздуха - влажность d и энтальпию J наружного воздуха.

Теплообмен наружной поверхности ограждения складывается из лучистого с окружающей средой и конвективного с наружным воздухом. Уравнение теплового баланса поверхности имеет вид

$$q_n = \rho q + \alpha_{н.л} (t_{R,n} - \tau_n) + \alpha_{н.к} (t_n - \tau_n) \quad (2.1)$$

τ_n - температура наружной поверхности, °С;

$t_{R,n}$ - радиационная температура наружной среды, °С;

q_n - поток тепла, проходящий через поверхность, Вт/м² °С;

q - интенсивность суммарной солнечной радиации, падающей на поверхность $q = S + D$, Вт/м²;

ρ - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью;

$\alpha_{н.л}, \alpha_{н.к}$ - коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена, Вт/м² °С.

Введем в уравнение (2.1) условную температуру наружной среды

$$q_n = \alpha_n (t_{н.у} - \tau_n) \quad (2.2)$$

равную

$$t_{н.у} = t_{нар} + \frac{\rho q}{\alpha_n} \quad (2.3)$$

где $t_{нар}$ - результирующая по лучисто-конвективному теплообмену температура наружной среды, °С

$$t_{нар} = \frac{\alpha_{н.л} t_{R,n} + \alpha_{н.к} t_n}{\alpha_n} \quad (2.4)$$

Величина результирующей радиационной температуры $t_{R,H}$ может быть определена из уравнения лучистого теплового баланса поверхности в длинноволновой части спектра. В длинноволновой части спектра поверхность ограждения обменивается лучистым теплом с небосводом, поверхностями грунта и окружающих зданий.

Радиационную температуру небосвода $T_{неб}$ можно определить, зная эффективное излучение поверхности земли E и ее температуру $T_{гр}$.

$$E = 5,77 \varepsilon_{гр} \left[\left(\frac{T_{гр}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{неб}}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт/м}^2$$

откуда

$$t_{R,H} = 100 \sqrt[4]{\frac{2 \varepsilon_{гр} \left(\frac{T_{гр}}{100} \right)^4 - (1 + \cos \Delta) E / 5,77}{1 + \varepsilon_{гр} + (1 - \varepsilon_{гр}) \cos \Delta}} - 273 \quad (2.5)$$

Из уравнения баланса лучистого тепла на наружной поверхности, получаем формулу для расчета радиационной температуры $t_{R,H}$ которая с учетом (3.5) имеет вид

$$t_{R,H} = 100 \sqrt[4]{\frac{2 \varepsilon_{гр} \left(\frac{T_{гр}}{100} \right)^4 - (1 + \cos \Delta) E / 5,77}{1 + \varepsilon_{гр} + (1 - \varepsilon_{гр}) \cos \Delta}} - 273 \quad (2.6)$$

В формулах (2.5), (2.6) принято:

$\varepsilon_{гр}$ - коэффициент длинноволнового излучения поверхности грунта;

Δ - угол наклона поверхности к горизонту, град.

Коэффициент лучистого теплообмена на наружной поверхности равен

$$\alpha_{ч.л} = 2,71 [1 + \varepsilon_{гр} + (1 - \varepsilon_{гр}) \cos \Delta]$$

Конвективный теплообмен на наружной поверхности в общем случае может протекать в режиме естественной, вынужденной и смешанной конвекции. Для расчета коэффициента конвективного теплообмена можно воспользоваться обобщающими критериальными зависимостями О.Кришера.

Для выявления закономерностей изменения во времени суток тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения, рассмотрим характер суточного хода основных параметров наружного климата. Анализ суточного хода имеет цель его стилизации, т.е. обобщенного описания аналитической функцией. Воспользуемся для этого средними многолетними данными, принятыми за основу модели изменения климатических параметров.

На рис.2.3. показан среднемесячный суточный ход температуры наружного воздуха в различных климатических зонах территории Узбекистана и для разных месяцев года. Аналогичные данные для скорости ветра показаны на рис.2.4, а для интенсивности солнечной радиации - на рис.2.5. Приведенные данные показывают наличие общей закономерности суточного хода отдельных параметров для различных периодов года.

Суточный ход температуры наружного воздуха

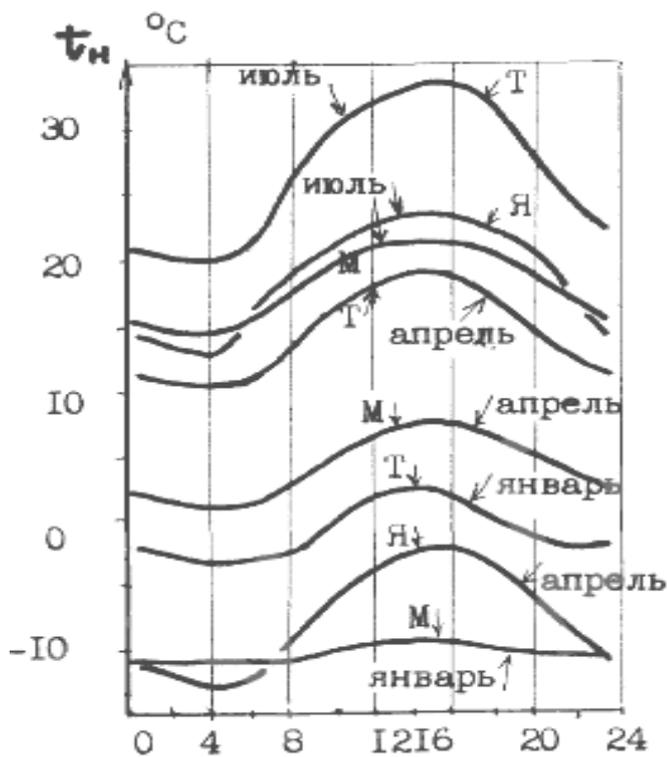


рис. 2.3

Суточный ход скорости ветра

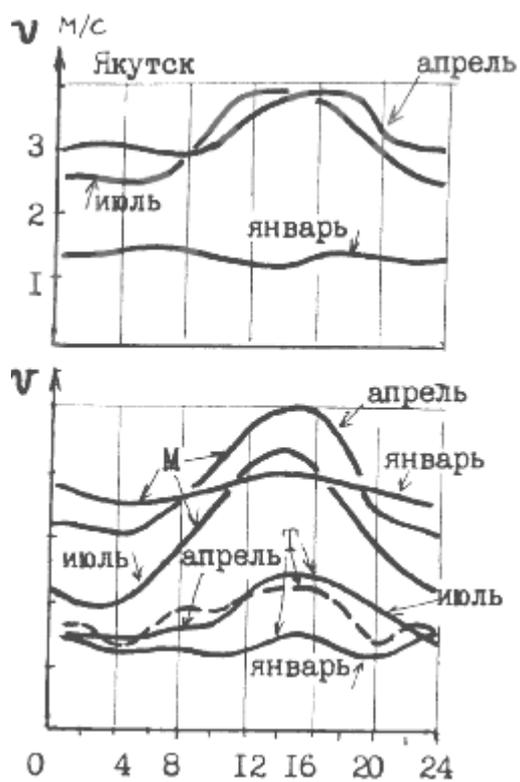
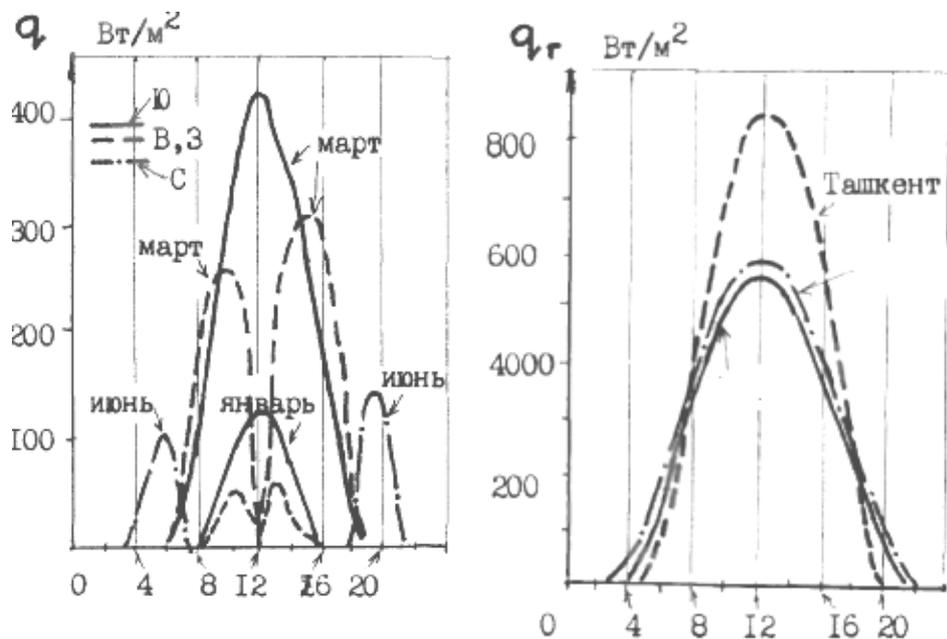


рис. 2.4

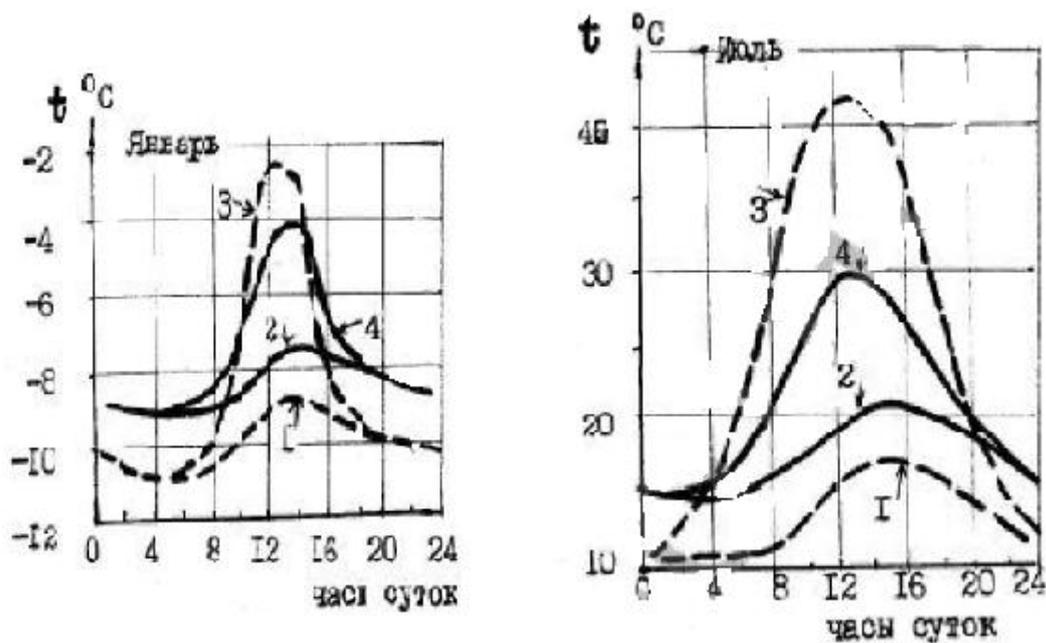
Суточный ход интенсивности суммарной солнечной радиации



б- на вертикальные поверхности в Кунграде а- на горизонтальную
поверхность в июне

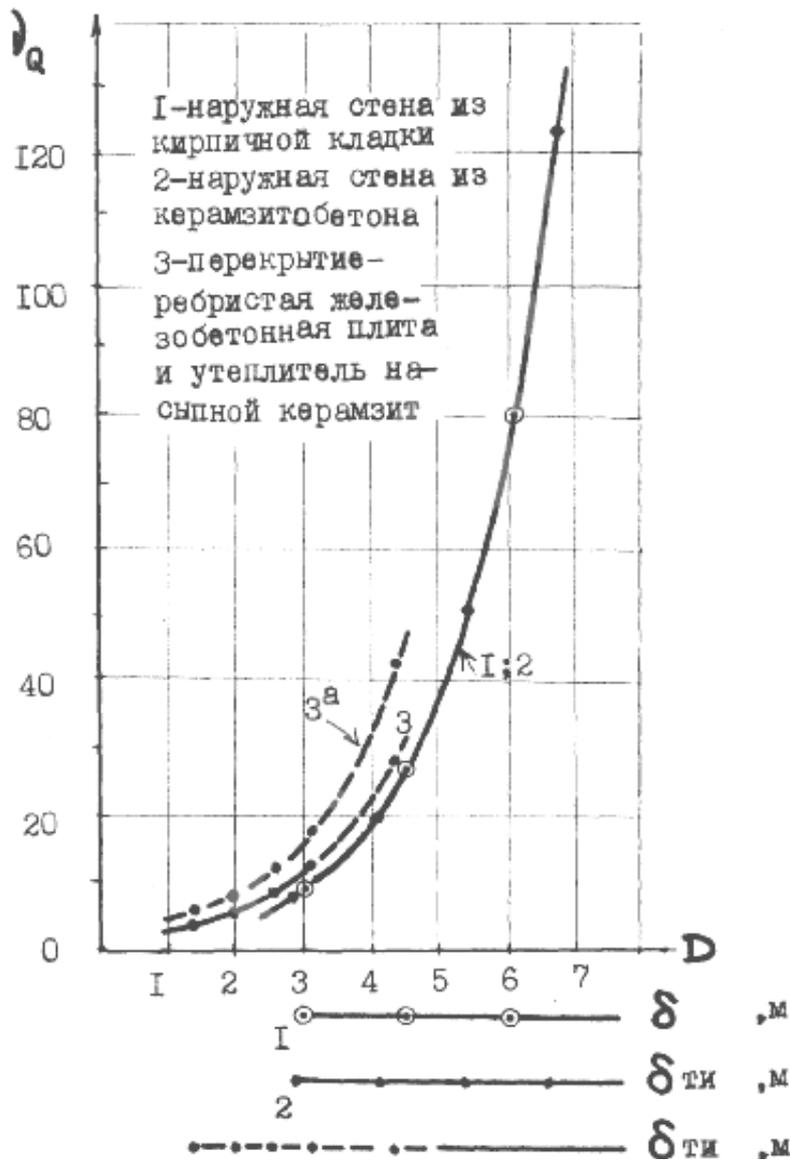
рис. 2.5

Суточный ход результирующей температуры в Кунграде



Результирующая наружная температура горизонтальной-1 и вертикальной-2 поверхностей, результирующая условная температура для горизонтальной-3 и вертикальной-4 поверхностей.

рис. 2.6



Суточный ход энтальпии наружного воздуха

рис. 2.7

На рис. 2.6. показан пример суточного хода результирующей температуры. Как видно из рис.3.6., учет длинноволнового излучения в сторону небосвода

приводит к довольно существенному различию результирующей температуры для вертикальной и горизонтальной поверхностей (линии 1 и 2 на рис.3.6). В целом результирующая температура, как и составляющие ее параметры, сохраняет общую закономерность суточного хода в отдельные периоды года. Для полноты представления о параметрах наружного климата на рис.2.7 показан суточный ход энтальпии наружного воздуха, закономерность которого близка к суточному ходу температуры наружного воздуха.

Исходя из цикличности с суточным периодом, для описания изменения параметров наружного климата наиболее подходит тригонометрический ряд. Имея в виду, что аналитическое описание суточного хода параметров в данной работе не является самоцелью, а играет вспомогательный характер, предпочтительно иметь достаточно простой (в ущерб точности описания) стилизованные аппроксимации. Так изменение температуры наружного воздуха можно описать одной гармоникой с периодом 24 ч.; для описания суточного хода скорости ветра, результирующей температуры и энтальпии можно воспользоваться двумя гармониками тригонометрического ряда. Интенсивность солнечной радиации изменяется прерывисто и для описания ее суточного хода хорошо подходит прерывистая функция (2.33).

Среди параметров наружного климата особое место занимает интенсивность солнечной радиации, оказывающая существенное влияние на формирование тепловой нагрузки. Интенсивность солнечной радиация неравномерно распределяется по поверхностям различной ориентации и положения, подвержена существенному изменению в течение суток и года. Рассмотрим подробнее закономерности распределения интенсивности по поверхностям ограждений.

Как известно, в метеорологической сети регистрируется интенсивность прямой солнечной радиации на нормальную к лучам S_n и горизонтальную поверхности S_r и диффузной радиации на горизонтальную поверхность D_r . Для пересчета

интенсивности прямой солнечной радиации на наклонные и вертикальные поверхности разной ориентации пользуются формулами пересчета.

$$S = S_n \cos \theta \quad (2.7)$$

где θ -так называемый профильный угол, град.

Формула (2.7) вполне справедлива для условий безоблачного неба, но может быть с некоторой погрешностью использована и для средних условий облачности.

В принятой аппроксимации суточного хода тепlopоступлений от солнечной радиации по (1.33) определяющими являются максимальное и среднесуточное значения тепlopоступления. Максимальная интенсивность прямой солнечной радиации определяется по формуле (2.7) подстановкой в нее соответствующих значений S_n и $\cos \theta$. Величина S_n принимается по справочным данным [105] для часа, соответствующего максимуму интенсивности на рассматриваемую поверхность.

Величину $\cos \theta$ можно представить в виде

$$\cos \theta = \cos \alpha \cdot \cos h = \cos \alpha \sqrt{1 - \cos^2 \theta_{г,м}}$$

α - солнечный азимут вертикальной или наклонной поверхности, град.;

h - высота стояния солнца, град. ;

$\cos \theta$ - косинус профильного угла для горизонтальной поверхности, соответствующего моменту максимума радиации на рассматриваемую поверхность.

Для времени максимума солнечной радиации на поверхность Z величина $\cos \alpha = 1$. Таким образом

$$S_m = S_{n(m)} \sqrt{1 - \cos^2 \theta_{г,м}} \quad (3.8)$$

В табл. 2.1. приведено сопоставление рассчитанных по теоретическим формулам коэффициентов пересчета суточных сумм прямой радиации и измеренных (по данным З.И.Пивоваровой [31]) в условиях Ташкента.

Таблица 2.1

Коэффициенты пересчета прямой радиации

Вид коэффициента пересчета	Значения коэффициентов для месяцев года и ориентации				
	Январь		Июль		
	Юг	Восток	Юг	Восток	Север
По формуле (2.9)	1,95	0,57	0,23	0,35	0,07
По результатам измерений	2,2	0,56	0,24	0,42	0,07

Данные табл.2.1, а также прямые сопоставительные расчеты среднесуточной радиации по действительному суточному ходу и с использованием полученных коэффициентов подтверждают правомерность предложенного метода расчета. Существенная асимметрия суточного хода интенсивности, прямой солнечной радиации на нормальную к лучам поверхность в средних условиях облачности может привести к погрешности расчета среднесуточных величин интенсивности радиации, правде всего для восточней, северо-восточной, западной и северо-западной ориентации.

$$D = D_r (0,7 + 0,3 \cos \Delta) \quad (2.10)$$

Для средних условий облачности диффузную радиацию можно считать анизотропной, не зависящей от ориентации вертикальных и наклонных поверхностей [70]. Линейность формул пересчета диффузной солнечной радиации позволяет использовать их прямо при определении среднесуточных и максимальных значений.

2.3 Статические и динамические характеристики помещения как объекта регулирования

Анализ режима работы системы кондиционирования микроклимата в процессе автоматического регулирования строится на исследовании статических и динамических характеристик помещения. Названные

характеристики, как известно, выражают связь между регулируемым параметром (температура воздуха помещения) и возмущающими или регулирующими воздействиями. Статические характеристики определяют связь между параметрами в установившемся состоянии, динамические характеристики раскрывают связь во времени.

Для нахождения статических и динамических характеристик помещения используется единая методологическая основа - теория теплоустойчивости, позволяющая рассчитывать температурные колебания при произвольной частоте воздействий.

Статические характеристики определяют в виде коэффициентов передачи по регулирующим и возмущающим воздействиям. Свойства помещения, как объекта регулирования, следует рассматривать относительно регулирующих средств или элементов системы кондиционирования микроклимата. В общем случае при периодическом (в течение рабочей части суток) действии СО, СВ и СКВ установившимся состоянием будет периодически повторяющийся или квазистационарный тепловой режим помещения.

Уравнением, связывающим регулируемый параметр - температуру воздуха с регулирующими и возмущающими тепловыми воздействиями, в квазистационарном состоянии является уравнение средней за рабочую часть суток тепловой нагрузки на систему.

Тепловой поток, вносимый в помещение той или иной системой, в идеальном случае должен быть равен тепловой нагрузке на систему- В общем для СО, СВ и СКВ виде тепловой поток, определенный относительно температуры воздуха равен

$$Q_c = K_c (t_c - t_b) \quad (2.11)$$

Для приборных систем отопления $k_c = k_{on} F_{on}$; $t_c = t_{on}$

где K_{on} - коэффициент теплопередачи, Вт/м² °С;

F_{on} - площадь теплоотдающей поверхности, м²;

t_{on} - средняя температура теплоносителя, °С;

Для воздушных СО, СВ и СКВ $k_c = \alpha (CF)_B$; $t_c = t_{np}$.

Совместное решение уравнения тепловой нагрузки и формулы (2.11) имеет вид

$$t_B = \frac{\frac{k_c}{\eta_c} t_{y.o} + \sum Q_j \frac{\eta_j}{\eta_c} - k_c t_c}{k/\eta_c - k_c} \quad (2.12)$$

Коэффициенты передачи определяются дифференцированием (2.12) по переменным параметрам. Не приводя здесь результатов дифференцирования, укажем работу [10], в которой подобная постановка задачи определения статических характеристик помещения осуществлена. Динамические тепловые свойства помещения определяются частотными характеристиками - амплитудной и фазовой. Возможность использования для построения таких характеристик положений теории теплоустойчивости была показана.

Опустив промежуточные выкладки, получим тригонометрическую форму амплитудно-фазовой характеристики помещения по тепловому воздействию

$$t_B(z) = \frac{A_a}{\sum F_i} (a_p \cos \omega z + b_p \sin \omega z) \quad (2.13)$$

$$a_p = \frac{1}{1 + \bar{p}^2} \left(\frac{S}{\alpha_k} + \sum \frac{f_i a_{ri}}{S_i} + \bar{p} \sum \frac{f_i b_{ri}}{S_i} \right)$$

$$b_p = \frac{1}{1 + \bar{p}^2} \left(\frac{S}{\alpha_k} \bar{p} + \bar{p} \sum \frac{f_i a_{ri}}{S_i} - \sum \frac{f_i b_{ri}}{S_i} \right)$$

Подстановка и решение относительно $A_{тв}$ позволяет определять характеристики помещения при регулировании изменением температуры теплоносителя амплитудную

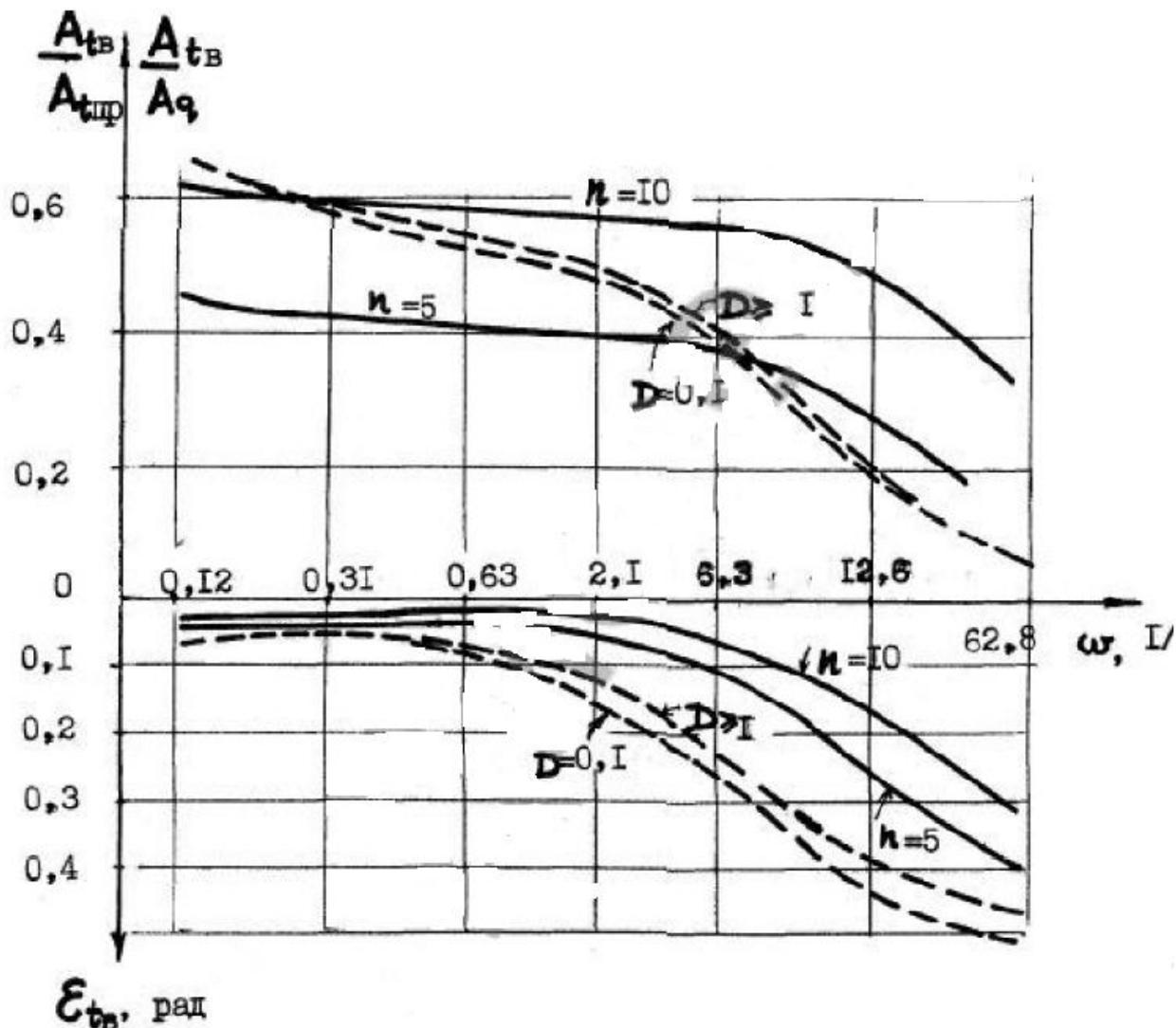
$$\operatorname{mod} \frac{t_b}{t_c} = \frac{At_b}{At_c} = \frac{\sqrt{\left(a_p^2 + a_p \frac{\sum F_i}{k_c} + b_p^2\right)^2 + \left(b_p \frac{\sum F_i}{k_c}\right)^2}}{\left(\frac{\sum F_i}{k_c} + a_p\right)^2 + b_p^2} \quad (2.14)$$

фазовую

$$\operatorname{arg} \frac{t_b}{t_c} = \varepsilon_{t_b} = \operatorname{arctg} \frac{b_p \frac{\sum F_i}{k_c}}{a_p^2 + a_p \frac{\sum F_i}{k_c} + b_p^2} \quad (2.15)$$

Для выявления влияния на частотные характеристики массивности ограждений помещения считалось, что помещение имеет одинаковые симметрично нагруженные ограждения с переменным показателем инерционности. Расчеты показали, что влияние массивности ограждений на частотные характеристики помещения незначительно. Об этом свидетельствует характер пунктирных линий - характеристик помещения по тепловому воздействию, построенных по формуле (2.13).

Частотные характеристики помещения



ри

с. 2.7

Сплошные линии на рис. 2.7, построенные по формулам (1.14), (1.15) представляют характеристики вентилируемого помещения различной кратностью воздухообмена при изменении температуры приточного воздуха. Как видно из рис.2.7, кратность воздухообмена существенно влияет на динамические свойства помещения. Приведенные на рис.2.7 кривые качественно согласуются с аналогичными данными .

Помимо частотных характеристик динамические свойства помещения принято характеризовать уравнением динамики переходного процесса, раскрывающим

характер изменения температуры воздуха при нанесении единичного регулирующего воздействия.

Для вывода уравнения динамики помещения обычно пользуются традиционными в теории автоматического регулирования операционными методами. Вместе с тем, имеется возможность получить уравнение динамики непосредственно из физической постановки задачи, воспользовавшись разработанной моделью температурных колебаний. По существу, уравнение вида и есть уравнение динамики помещения при прерывистом тепловом воздействии с заданным периодом, т.е. при наиболее распространенном в практике кондиционирования микроклимата возмущении. Однако самостоятельный интерес представляет возможность перехода от прерывистых периодических воздействий к стандартным разовым - импульсному и скачкообразному, которые используются в теории автоматического регулирования. Аналитическое выражение единичного импульса в теории автоматического регулирования дается в виде функции Дирака $\delta(Z)$, на которую налагается условие, чтобы интеграл от нее на всей числовой оси был равен единице. Приняв аналогичное условие и для прерывистой функции, т.е. считая площадь прерывистого воздействия величиной Y и продолжительностью ΔZ равной единице $F=y\Delta Z = 1$, получим $y=1/\Delta Z$.

Уравнение преобразуется в уравнение динамики при импульсном периодическом воздействии, если в него подставить вместо Q $y=1/\Delta Z$ и найти предел коэффициентов при $\Delta Z \rightarrow 0$. Пределы функций $\Omega_B/\Delta Z$ и $\Omega_R/\Delta Z$ равны

$$\Omega_B' = \lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \Omega_B/\Delta Z = \frac{2}{T} \sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{\cos \omega k z + \bar{p} k \sin \omega k z}{1 + \bar{p}^2 k^2} \quad (2.16)$$

$$\Omega'_R = \lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \Omega_R / \Delta Z = \frac{2}{T} \sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{\cos(\omega k z - \varphi_0/4) + \bar{p} k \sin(\omega k z - \varphi_0/4)}{\sqrt{k} (1 + \bar{p}^2 k^2)} \quad (2.17)$$

Ряд (2.16) сходится к функции

$$\Omega'_B = p \frac{e^{-pz}}{1 - e^{-pT}} - \frac{1}{T} \quad (2.18)$$

Зависимость коэффициентов Ω'_R (отнесенных к полупериоду) от времени и показателя относительного теплопоглощения по данным численного расчета приведена на рис. 2.7. Из рис. 2.7 видно, что показатель теплопоглощения p оказывает существенное влияние на величину Ω'_R . Вместе с тем, для приведенных на рис. 2.7 кривых характерна общая закономерность, связанная с запаздыванием колебания радиационной температуры относительно импульсного воздействия. Причем величина запаздывания возрастает с увеличением показателя теплопоглощения p . Кривые пересекают нулевую ординату, как это и должно быть при периодическом колебательном процессе. Импульсное периодическое воздействие является предельным случаем прерывистого, поэтому уравнение динамики при импульсном периодическом воздействии может послужить основой для нахождения стандартных воздействий - разовых.

Переход от периодического импульсного к разовому импульсному воздействию сводится к отысканию предела функции (2.16) и (2.17) при $T \rightarrow \infty$. Относительно величины Ω'_B достаточно найти предел функции (2.18), который равен

$$\Omega''_B = \lim_{T \rightarrow \infty} \Omega'_B = p e^{-pz} \quad (2.19)$$

При отыскании функции Ω'_R для разового воздействия следует иметь в виду зависимость от периода показателя теплоусвоения $y_t = y \sqrt{\frac{24}{T}}$.

Т.е. следует определить не предел функция Ω_R , а $\lim_{T \rightarrow \infty} \Omega_R \sqrt{\frac{24}{T}}$.

Функция изменения радиационной температуры помещения при импульсном периодическом тепловом воздействии

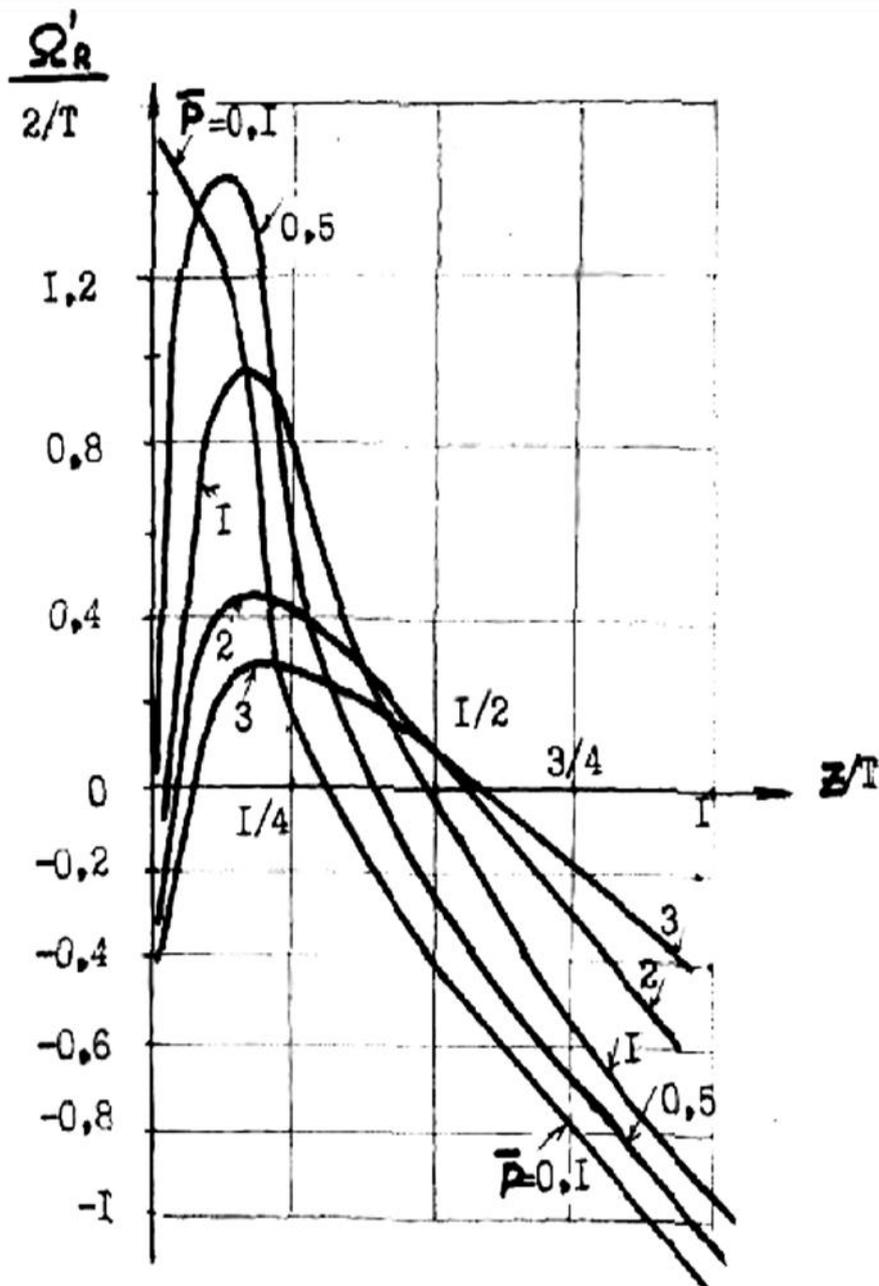


рис.2.8

Подставив в (2.17) $\sqrt{\frac{T}{24}}$, выделим параметр $x=k/t$, который при $T \rightarrow \infty$ и k от 1 до ∞ будет изменяться в пределах от 0 до 1. При ∞ величина $d=k/t$ становится бесконечно малой и от суммирования в (2.17) надо перейти к интегрированию. Таким образом

$$\Omega_{LR}'' = \lim_{T \rightarrow \infty} \sqrt{T} \Omega_{LR}' = \frac{2}{\sqrt{24}} \int_0^1 \frac{\cos(2\pi z x - \frac{\pi}{4}) + \frac{2\pi}{p} x \sin(2\pi z x - \frac{\pi}{4})}{x \sqrt{1 + (\frac{2\pi}{p} x)^2}} dx \quad (2.20)$$

По правилам интегрирования оригиналов функций интегрированию оригинала соответствует деление его изображения на оператор. Тогда для $\delta(z)$ - функции

$$\int_0^z \delta(z) dz \rightarrow f(p)/p = p/p = 1 \quad (2.21)$$

Проинтегрировав по времени функции (2.20) и (2.21), перейдем от импульсного воздействия к единичному разовому скачку. Интегрирование функции (2.20) дает традиционное решение

$$\Omega_{LR}''' = 1 - e^{-pz} \quad (2.22)$$

Интегрирование функции (2.21) приводит к виду

$$\Omega_{LR}''' = \int_0^z \Omega_{LR}'' dz = \frac{1}{\pi \sqrt{24}} \int_0^1 \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} (1 + \frac{2\pi}{p} x) + [\sin(2\pi z x - \frac{\pi}{4}) - \frac{2\pi}{p} x \cos(2\pi z x - \frac{\pi}{4})]}{x \sqrt{1 + (\frac{2\pi}{p} x)^2}} dx \quad (2.23)$$

Результаты численного интегрирования (2.23) приведены на рис. 2.8, из которого видно, что влияние условий теплообмена в помещении сказывается на изменении радиационной температуры при скачкообразном воздействии в значительно меньшей мере, чем при импульсном. Полученный вывод согласуется с анализом температурных колебаний при периодических прерывистых воздействиях в зависимости от частоты колебания и продолжительности воздействия. С учетом исходного уравнения при условии

$\Delta Z \rightarrow 0$ уравнение динамики помещения при стандартном разовом тепловом возмущении приобретает вид

$$t_B(z) = \frac{\Delta \theta}{\sum F_i} \left(\frac{\beta \Omega_B}{\alpha_k} + \frac{\Omega_R}{\gamma} \right) = \frac{\Delta \theta}{\sum F_i} F(z) \quad (2.24)$$

Функция изменения радиационной температуры помещения при разовом скачкообразном тепловом воздействии

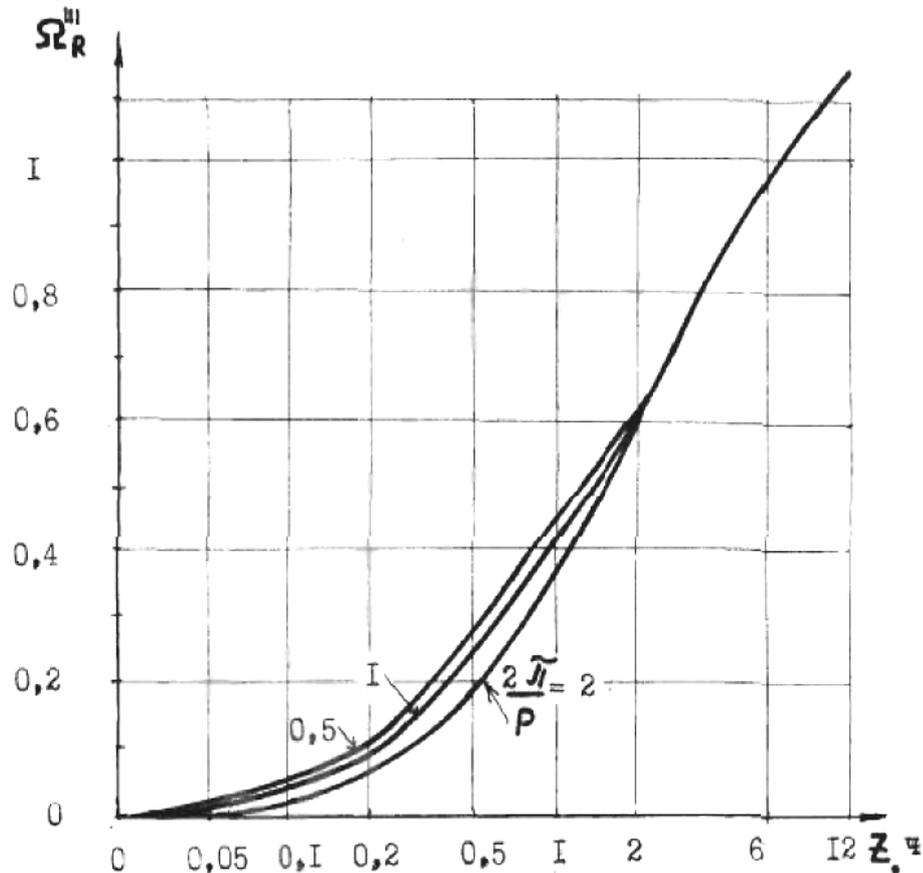


рис.2.10

в котором отклонение от среднего за период значение Δt_B трансформируется в абсолютную величину температуры t_B , т.е. при $\Delta Z \rightarrow 0$, средняя за период температура $t_{B,0}$ обращается в 0. Подстановка в (2.24) уравнения (2.11) приводит к уравнению динамики относительно регулирующего воздействия, например, температуры теплоносителя

$$t_B(z) = \frac{F(z)}{\sum F_i / k_c + F(z)} \quad (2.25)$$

Выводы по 2 главе

1. Полученное из рассмотрения систематизированных схем лучисто-конвективного теплообмена уравнение баланса тепла в помещении позволяет учесть теплообмен внутренней среды помещения с наружными ограждениями и построено относительно температуры воздуха, являющейся наблюдаемым и нормируемым показателем.
2. Введенное понятие коэффициентов нагрузки, для которых получены аналитические выражения, позволяет оценить требуемую долю каждого теплового потока, составляющего тепловую нагрузку, которую должна нейтрализовать система из условия обеспечения заданной температуры воздуха.
3. Стилизация суточного изменения составляющих тепловой нагрузки позволила найти аналитические выражения для оценки влияния составляющих на тепловой режим. Анализ показал, что влияние колебания в течение суток трансмиссионного и инфильтрационного тепловых потоков мало и при расчете тепловой нагрузки на системы им можно пренебречь.
4. Предложенные средне интегральные характеристики пересчета прямой солнечной радиации, позволяющие учитывать нелинейность суточного хода интенсивности солнечной радиации, согласуются с данными измерений.
5. Предложенный метод линеаризации формулы для расчета расхода инфильтрующегося воздуха позволяет достаточно просто учитывать распределенность скорости ветра по величине и направлению при расчете среднесуточных инфильтрационных тепловых потоков.
6. Анализ формул для расчета коэффициентов нагрузки показал малое влияние на результат показателей теплоусвоения и конвективного теплообмена в помещении, что позволило рекомендовать упрощенный метод расчета тепловой нагрузки на системы.
7. Теория теплоустойчивости может быть использована для отыскания статических и динамических характеристик помещения как объекта

регулирования, причем установившимся состоянием помещения, для которого определяются статические характеристики, является ква-зистационарный режим формирования тепловой нагрузки на систему. Выражения для частотных характеристик помещения прямо вытекают из основных уравнений теории теплоустойчивости.

8. Анализ динамических частотных характеристик помещения показал пренебрежимо малое влияние на них теплоинерционных свойств ограждений помещения, что позволяет несколько упростить оценку динамических свойств помещения.

Глава третья. Годовой расход энергии СКВ

Задача расчета годовых расходов энергии состоит в определении функции изменения тепловой мощности во времени года. Решение уравнения, составленного из подобной функции, позволяет определить продолжительность потребления энергии в течение года, а интегрирование функции в определенных пределах позволяет найти величину годового расхода энергии. Характер функции для СО, СВ и СКВ связан в основном с закономерностью изменения параметров наружного климата.

3.1 Годовое изменение параметров наружного климата

Принятая модель годового изменения наружного климата представляет год как совокупность изменяющихся из времени параметров, состоящим из 12 характерных суток. Основу модели составляют средние многолетние данные. Дополнительно используются характеристики междугодовой изменчивости среднемесячных значений параметров на основе понятия обеспеченности за ряд лет. В такой постановке модель климата может быть классифицирована как детерминированно-вероятностная, т.к. ее основу составляют закономерности, отражающие физическую сущность процесса формирования годового хода

параметров, а вероятные отклонения от средних многолетних значений параметров анализируются на основе обработки статистических данных. В принятой модели годовой ход параметра может характеризоваться для определенного часа суток, или в среднем за часть суток, или в среднем за сутки в зависимости от решаемой задачи. С иллюстративной точки зрения наиболее представительными являются среднесуточные значения параметров.

На рис. 3.1. а, помимо среднесуточного значения, для сравнения оказан также годовой ход максимальной суточной температуры наружного воздуха в трех различных климатических зонах территории Узбекистан. Как видно из рис.3.1. а, закономерность годового изменения температуры носит близкий к гармоническому характер, общий для различных климатических условий.

Годовой ход определяющих параметров наружного климата

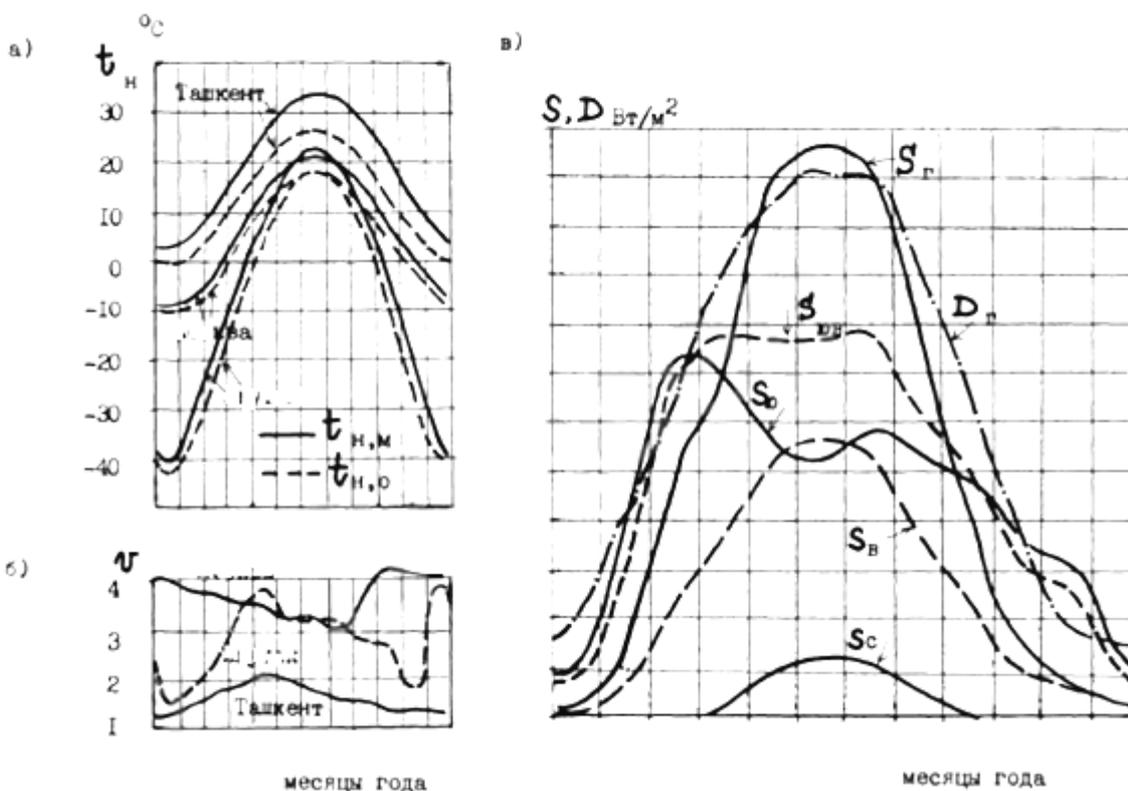


рис.3.1

На рис. 3.2. приведен годовой ход максимальной и средней за сутки энтальпии (рис.3.2.а) и среднесуточного влагосодержания наружного воздуха (рис.3.2.б) - параметров, во многом определяющих режим обработки и расход энергоресурсов на обработку воздуха в СВ и СКВ. Как видно из рис.3.2., оба параметра наружного воздуха имеют четкую закономерность годового расхода. Причем для энтальпии эта закономерность близка к гармонической, для влагосодержания характерно уплощение кривых в зимние месяцы, связанное с малой влагоемкостью воздуха при низких температурах. Для Кунграда вполне закономерно эта уплощенность развита больше, чем, например, в Ташкенте. С теплотехнической точки зрения представляет интерес рассмотрение годового хода результирующей температуры наружной среды. Величина результирующей температуры зависит от определяющих параметров наружного климата и условий теплообмена на поверхностях. На рис. 3.3. а для примера показан годовой ход средних значений коэффициентов теплообмена на наружной поверхности горизонтального и вертикального ограждений в Ургенче. Если коэффициенты лучистого теплообмена, так это следует из рис, 3.3.а , имеют закономерность годового хода, то годовой ход коэффициентов конвективного теплообмена, зависящих в основном от скорости ветра, такой закономерности лишен. Характер годового хода суммарных коэффициентов теплообмена аналогичен годовому ходу $\alpha_{\text{кн}}$. Рис. 3.3. б-г иллюстрирует годовой ход результирующей радиационной температуры в Ургенче, Ташкенте и Кунграде. Для наглядности на рис. 3.3. б-г показан также годовой ход t_n . Данные на рис. 3.3.показывают вполне закономерное увеличение разности температуры наружного воздуха и радиационной температуры наружной среды от зимних к летним месяцам, а так же то, что с повышением среднемесячных значений температуры наружного воздуха эта разность возрастает. Это обстоятельство сказывается и на годовом ходе результирующей по лучисто-конвективному теплообмену температуре наружной среды $t_{\text{нар}}$, показанном для

Ташкента и Кунграда на рис. 3.4. Существенное отличие t_n от $t_{нар}$. Особенно для Ташкента, и в большей степени для горизонтальной поверхности, чем для вертикальной, следует учитывать при расчете трансмиссионных тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения. В целом годовой ход результирующей температуры повторяет годовой ход температуры воздуха.

Годовой ход параметров наружного воздуха

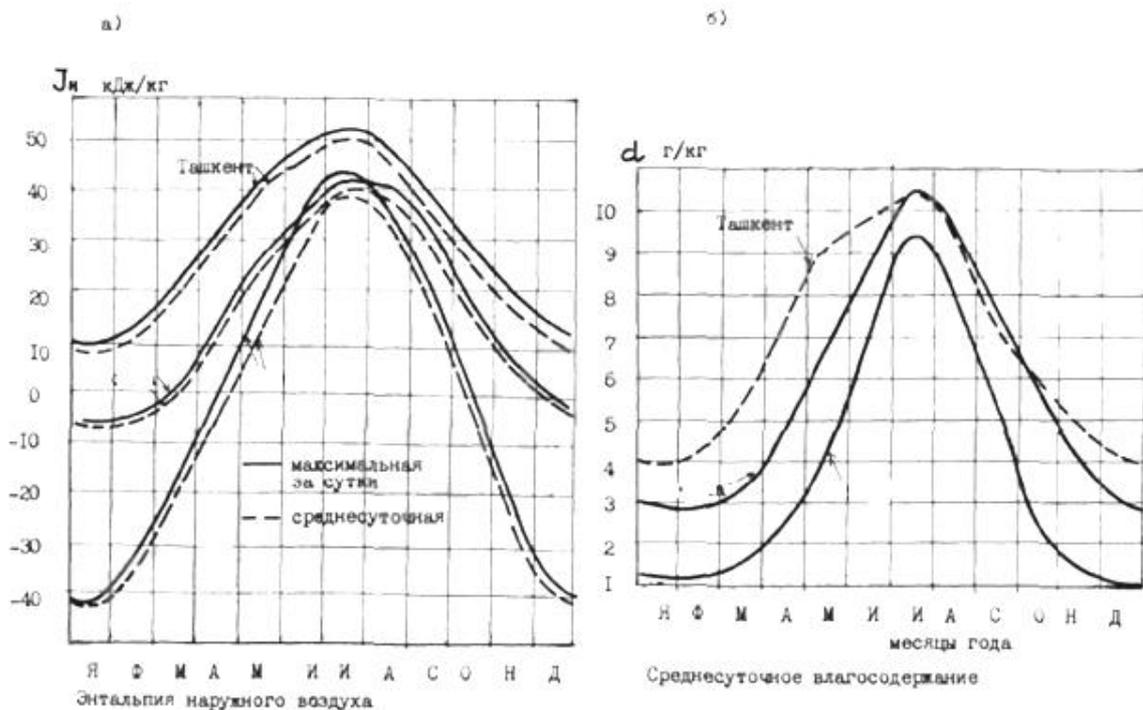
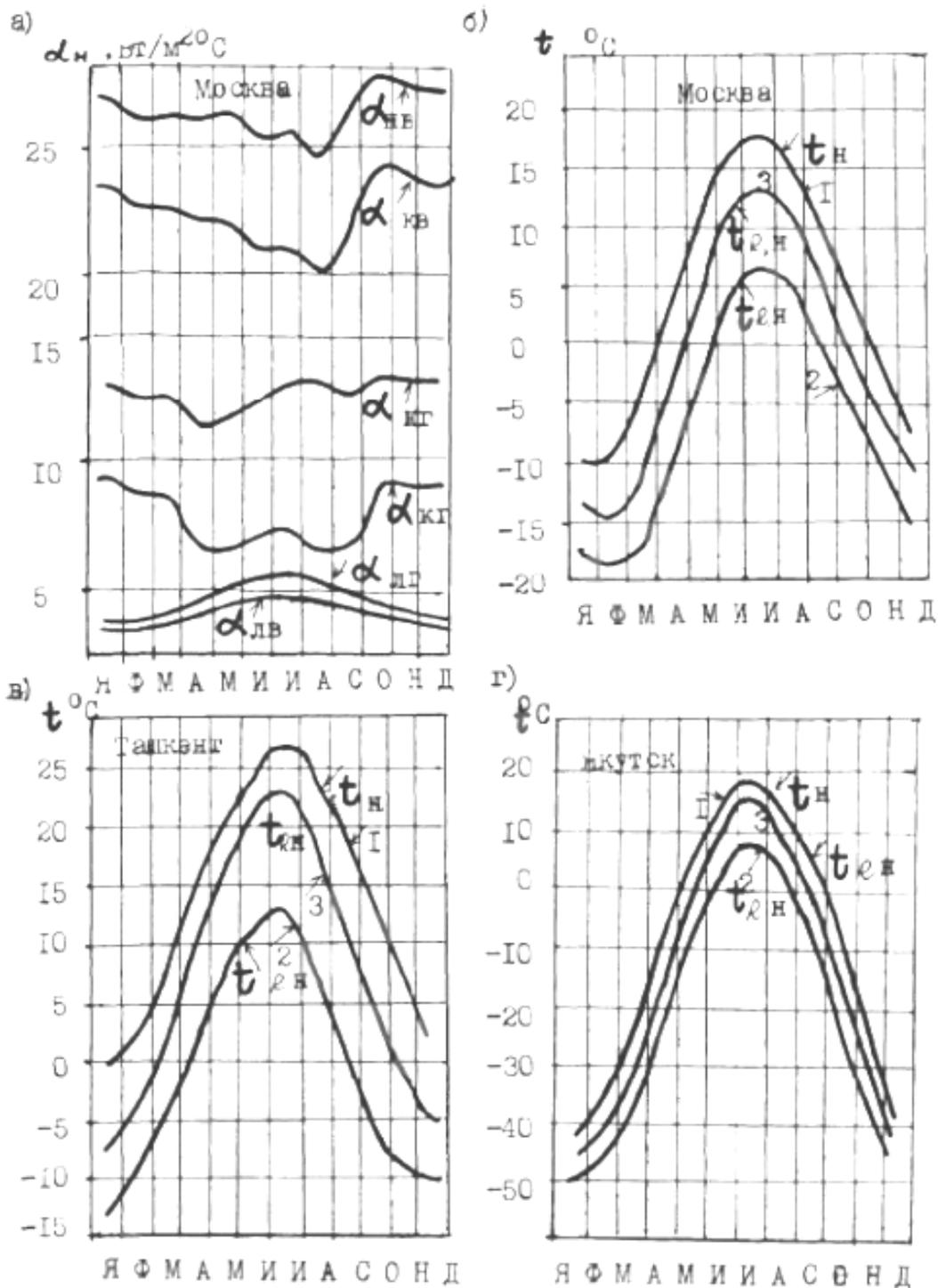


рис.3.2

Периодический характер годового изменения параметров наружной среды позволяет использовать для описания их изменения во времени тригонометрический ряд. Использование аппроксимации целесообразно только для гармонически изменяющиеся во времени параметров, т.к. преобразования ряда, состоящего даже из двух членов, приводит к громоздким зависимостям. Поэтому при анализе годового режима работы систем проще пользоваться табличным представлением климатических параметров. Приведенные выше характеристики наружного климата получены по средним многолетним данным. Известно, что в отдельные годы для разных сроков или среднесуточных величин возможно появление самых разнообразных значений того или иного параметра наружного климата, т.е. имеет место междугодное изменение климатических параметров. Распределенность параметров климата по годам вызывает междугодовые

Годовой ход коэффициентов теплообмена на наружной поверхности ограждений и радиационной температуры наружной среды;



1-температура наружного воздуха, 2-радиационная температура для горизонтальной, 3- для вертикальной поверхности

рис.3.3

колебания энергопотребления системами, что следует учитывать при расчете энергетических показателей системы. Кроме этого, при учете распределенности параметров, прежде всего, характеризующих состояние наружного воздуха,

появляется возможность выявления и количественной оценки некоторых режимов работы систем, которые возможны в периоды года, близкие к расчетным.

Показателем, связывающим величину параметра климата с частотой ее появления в принятом к рассмотрению ряду лет, является коэффициент обеспеченности $K_{об}$ равный отношению

$$K_{об} = \frac{n}{N} \quad (3.1)$$

где

n- число лет (случаев), когда параметр отклоняется (например, превышает) от заданного значения;

N- число лет, принятых к рассмотрению.

Зависимость численных значений параметров климата от коэффициента обеспеченности имеет вид функции распределения $F(y)$.

В качестве примера на рис. 3.5. а приведены функции распределения среднемесячной температуры наружного воздуха в Ургенче, а на рис. 3.5.б - годовой ход температуры с различной обеспеченностью выше или ниже заданного значения. Представление годового хода параметров с одинаковой обеспеченностью во все месяцы носит иллюстративный характер, т.к. вероятность появления такого года близка к 0. Вместе с тем, представление годового хода заданной обеспеченности позволяет систематизировать междугодовую изменчивость параметров. Аналогичного вида характеристики обеспеченности интенсивности прямой солнечной радиации на поверхность южной ориентации и суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в Ташкенте приведены на рис, 3.6. Из рис. 3.6. видно, что распределенность интенсивности солнечной радиации по годам не искажает общей закономерности годового хода параметра, проявляющейся при $K_{об} = 0,5$, который соответствует средним многолетним данным.

Годовой ход результирующей температуры наружной среда

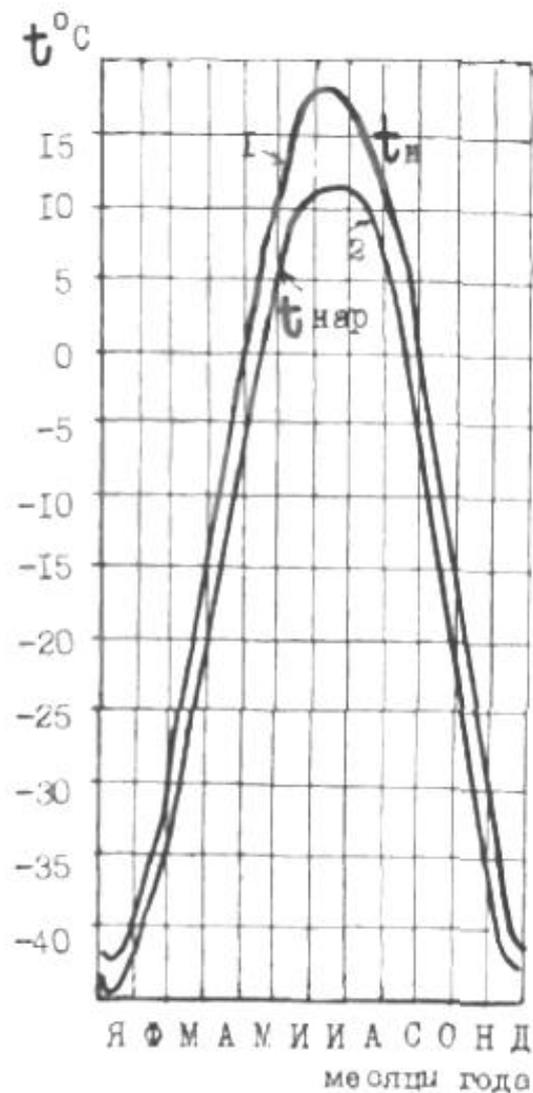
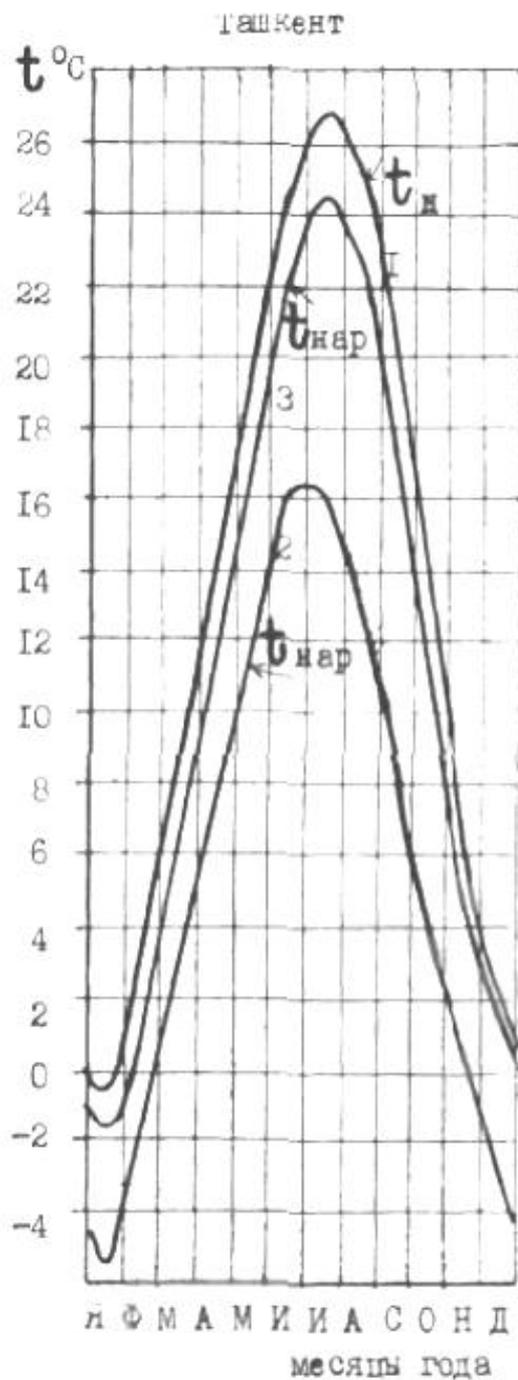
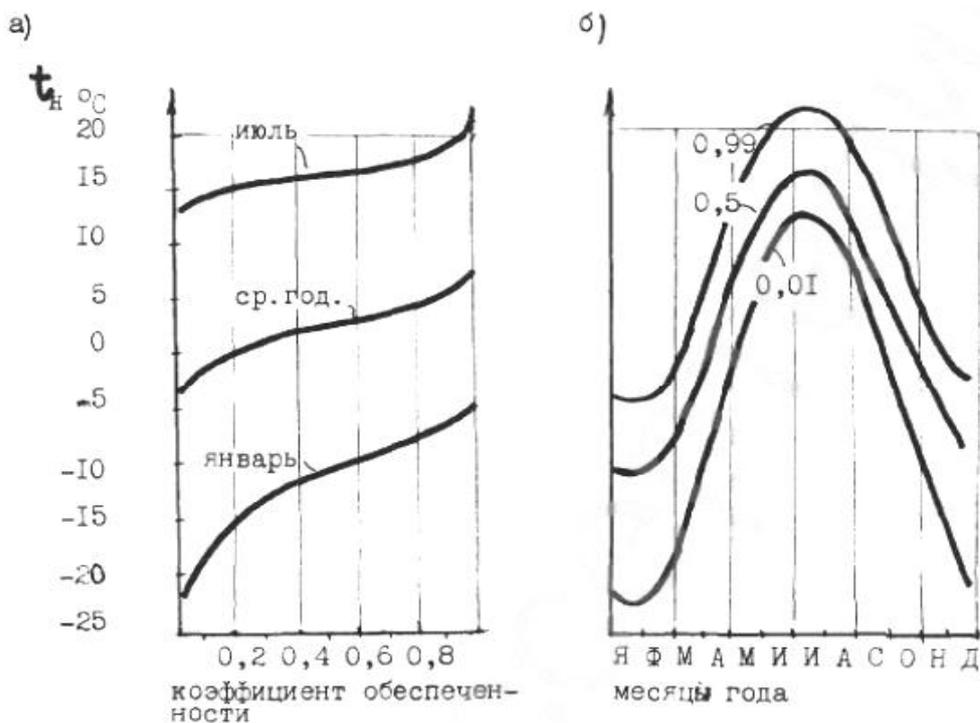


рис.3.4

1-температура наружного воздуха, 2-результатирующая температура наружной среды для горизонтальной поверхности, 3-результатирующая температура наружной среды для вертикальной поверхности

Функции распределения и годовой ход температуры наружного воздуха в Ургенче



Обеспеченность годового хода интенсивности прямой солнечной радиации на поверхность южной ориентации в Ташкенте

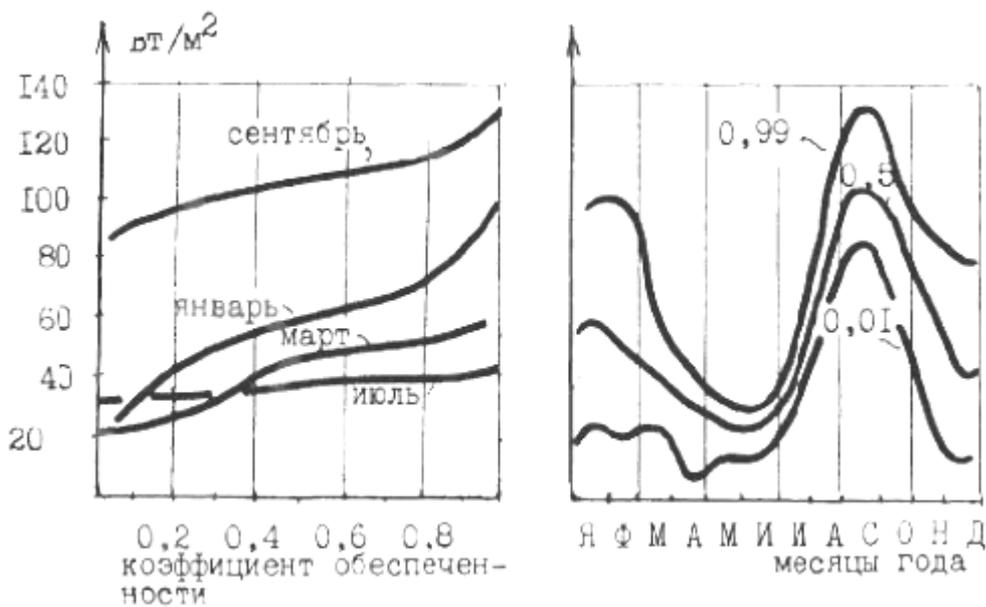


рис.3.5

Однако некоторое искажение кривых годового хода имеет место. Функции распределения и годовой ход различной обеспеченности энтальпии наружного воздуха в Ташкенте приведены на рис.3.7а и функции распределения скорости ветра в Кунграде - на рис.3.7.б.

Приведенные на рис. 3.5.-4.7. данные характеризуют распределенность по годам отдельных параметров наружного климата. Тепловая нагрузка на системы формируется при комплексном воздействии на тепловой режим помещений наружной среды, причем роль параметров в формировании нагрузки различна. Для отыскания характеристик обеспеченности комплекса наружных климатических параметров следует оценить характер годового изменения составляющих тепловой нагрузки и их распределенность по годам.

3.2 Обеспеченность тепловой нагрузки на системы в эксплуатационных условиях

Составляющие тепловой нагрузки подвержены сезонным колебаниям. Изменение технологической составляющей происходит, как правило, вследствие перехода от зимних к летним параметрам внутреннего микроклимата и наоборот, либо связано с другими характерными для сезона признаками (например, изменение естественной освещенности в течение года сказывается на тепловыделениях от искусственного освещения). Колебания тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения, непосредственно связаны с годовым ходом соответствующих параметров климата.

Функции распределения и годовой ход интенсивности суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в Ташкенте

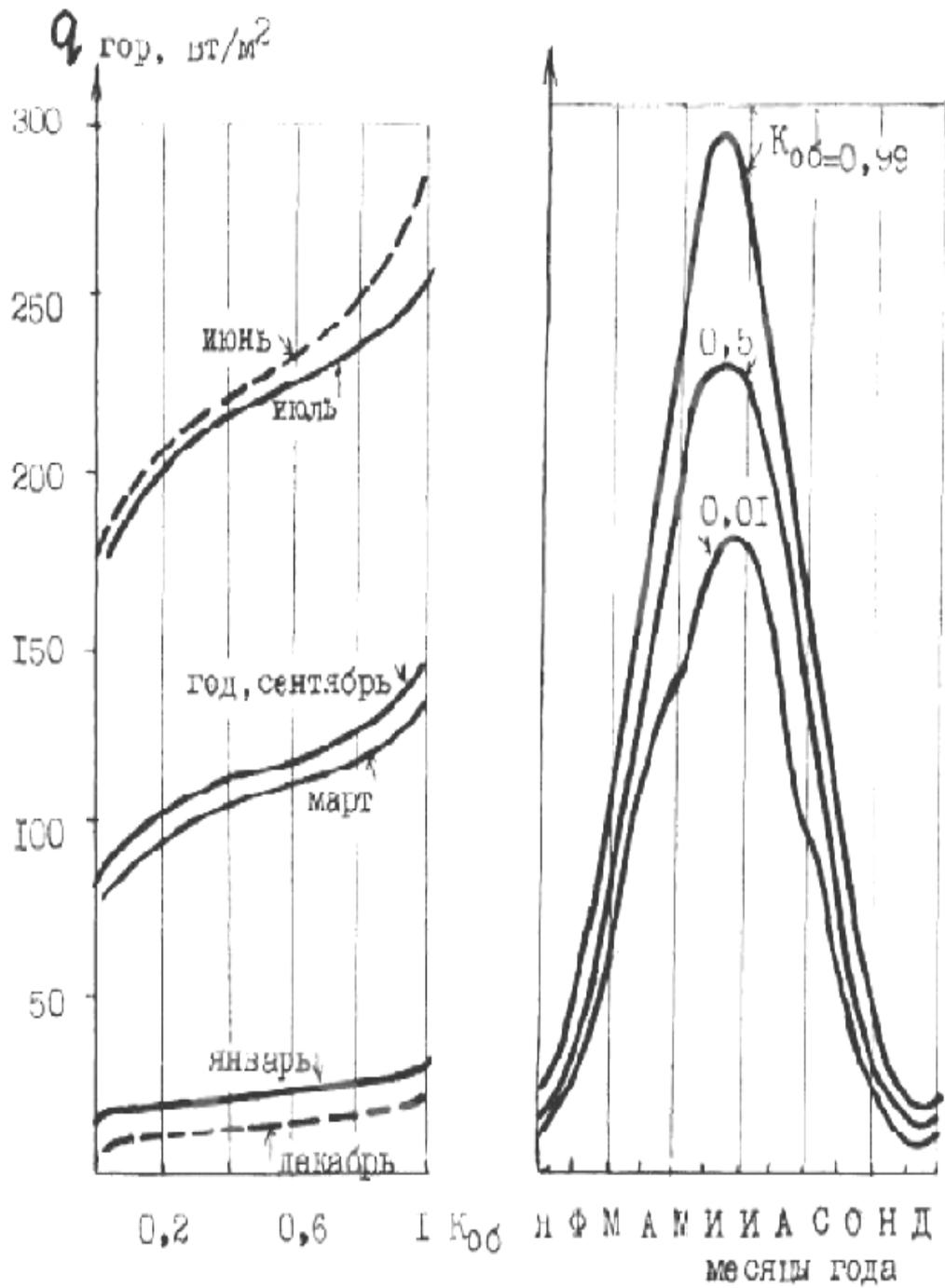
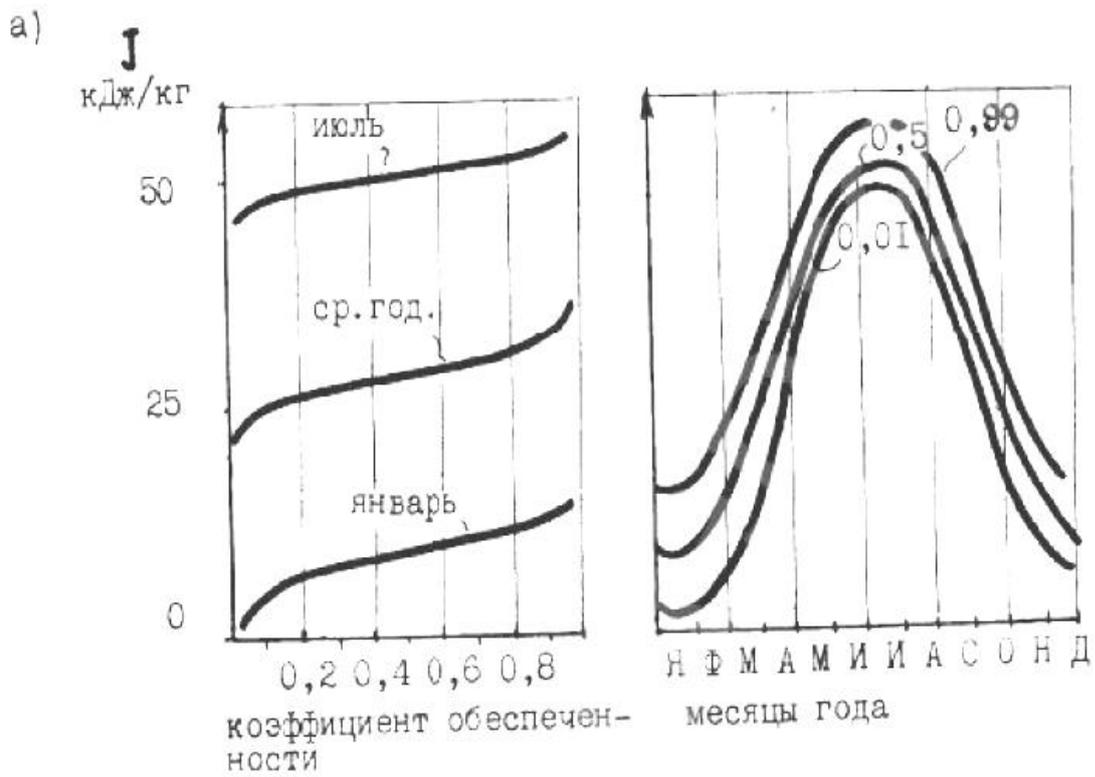


рис.3.6

Обеспеченность годового хода энтальпии наружного воздуха в Ташкенте



Обеспеченность среднемесячной скорости ветра в Кунграде

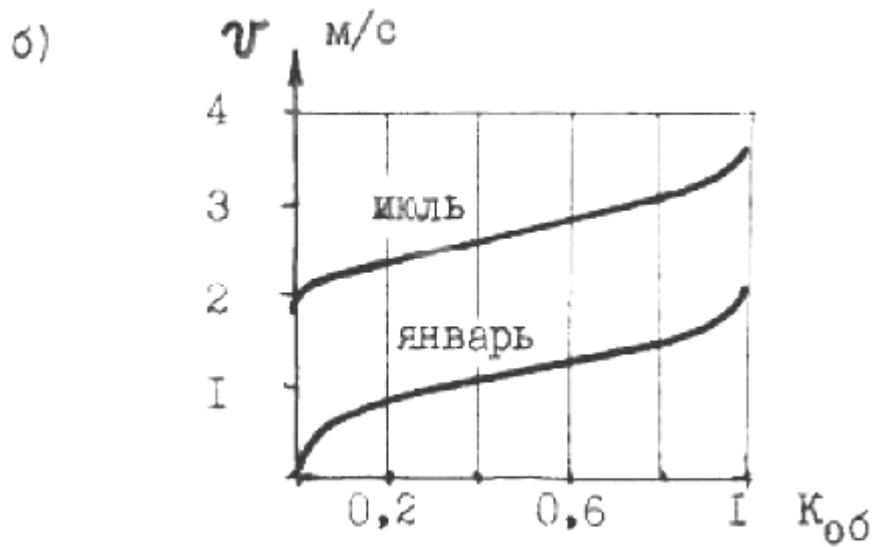


рис.3.7

Годовое изменение наружных и внутренних климатических параметров вызывает изменение условий теплообмена на внутренних поверхностях наружных ограждений. Проведенные расчеты показали, что внутригодичное изменение коэффициентов теплообмена на внутренних поверхностях наружных ограждений достигает 40%, однако эти колебания не приводят к существенному различию коэффициентов теплопередачи ограждений, не превышающему 2-5%. Годовое изменение тепловой нагрузки на СО, СВ и СКВ определяется закономерностью годового хода наружных и внутренних тепловых потоков, составляющих нагрузку, режимом работы обслуживаемого помещения, видом и режимом работы фоновой системы. Принципиально можно выделить два характерных графика годового хода тепловоз нагрузки на системы. Первый соответствует случаю, когда помещение обслуживается одной системой, например, системой отопления, работающей круглосуточно в течение отопительного периода или системой охлаждения помещения, работающей круглые сутки или в рабочее время в теплый период года. Второй вариант графика характерен при параллельной работе двух систем - основной и фоновой.

В графике можно выделить два характерных периода года, когда системы работают совместно (отопительный период) и когда работает одна СКВ, Положение кривой тепловой нагрузки на СКВ в течение отопительного периода зависит от величины тепловыделения системой отопления, и при сокращении последней величины, будет перемещаться вниз. Аналогичный график будет характерен и в том случае, когда помещение обслуживается одной системой, работающей в различных режимах в рабочее и нерабочее время суток. Распределенность по годам параметров наружного климата является причиной междугодового колебания тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения и тепловой нагрузки на системы. Показателем, связывающим величину отклонения тепловой нагрузки от среднего многолетнего значения с частотой отклонения, является коэффициент

обеспеченности. Следует отметить, что в рассматриваемой задаче анализа эксплуатационного режима работы систем коэффициент обеспеченности имеет другой смысл, нежели при расчете установочной мощности. При рассмотрении расчетных режимов работы СКМ величина $K_{об}$ связывает допустимое отклонение расчетных внутренних условий с определенным уровнем расчетных параметров наружного климата. Тем самым определяемая параметрами наружного климата установочная мощность системы ставится в соответствие назначению обслуживаемого помещения.

Обе составляющие являются случайными величинами и их связь с $K_{об}$ характеризуется функцией распределения каждой. Применяв теорему умножения вероятностей к умножению обеспеченности двух независимых событий, получим, что коэффициент обеспеченности тепловой нагрузки равен:

$$k_{об}(Q_c) = k_{об}(Q_{c,н}) k_{об}(Q_{c,в})$$

Корреляционный анализ инфильтрационной составляющей показывает, что величина теплового потока от инфильтрации в определяющей мере подвержена влиянию температуры наружного воздуха и гораздо меньше влиянию скорости ветра. Этот вывод подтверждается выборочными данными табл. 3.1., в которой приведены коэффициенты корреляции средних по наветренному фасаду здания теплотерь от инфильтрации для некоторых месяцев.

Таблица 3.1

Коэффициенты корреляции инфильтрационного потока тепла с температурой и скоростью ветра

Город	Месяц	Коэффициенты корреляции для зданий высотой					
		15м		50м		80м	
		V_t	V_v	V_t	V_v	V_t	V_v
Ургенч	апрель	-0,67	0,36	-0,92	-0,09	-0,93	-0,12
Кунгират	январь	0,92	-0,34	0,91	-0,35	0,92	-0,08

Ташкент	июль	0,86	0,65	0,88	0,44	0,92	0,44
---------	------	------	------	------	------	------	------

Величину $Q_{с,н}$ в целом для здания можно получить просуммировав соответствующие величины $Q_{с,н,i}$ для помещений. Представим величину $Q_{с,н}$ в виде зависимости от комплексного параметра

$$Q_{с,н} = K_{зд} (\theta_n - t_{в}) \quad (3.2)$$

равного

$$\theta_n = t_n + a_s S_n + a_D D_r \quad (3.3)$$

Входящие в формулы (3.2) и (3.3) величины $K_{зд}$, A_s , A_D являются теплотехническими характеристиками, присущими данному зданию и не подвержены между годовому изменению. Их величины равны

$$K_{зд} = \sum \frac{1}{\tau_c} [K(F_1 + F_2) + AG F_2]_i$$

$$a_s = \frac{1}{K_{зд}} \sum \left[\cos \theta_j \frac{1}{\tau_c} \left(\frac{F_1 K_1 \rho_1}{\alpha_n} + \tau_s \beta_1 \beta_2 \beta_3 F_2 \right) \right]_i$$

$$a_D = \frac{1}{K_{зд}} \sum \left[\frac{1}{\tau_c} (0,7 + 0,3 \cos \Delta) \left(\frac{F_1 K_1 \rho_1}{\alpha_n} + \tau_D F_2 0,74 \beta_3 \right) \right]_i$$

Однако такая функция будет субъективной характеристикой обеспеченности для данного здания и не будет справедливой для других зданий. Поэтому при анализе обеспеченности суммарного теплового потока предпочтительнее иметь характеристики обеспеченности непосредственно каждого параметра, входящего в θ_n , что позволило бы учесть возможное многообразие трансформации обусловленных параметрами тепловых потоков в разных зданиях.

С учетом этого обстоятельства сведение трех параметров климата в один комплексный следует рассматривать как первый этап анализа, конечным результатом которого должны быть характеристики обеспеченности отдельных параметров с учетом их комплексного действия.

Разложение комплексного параметра на составляющие можно провести на основе регрессионного анализа. При этом функция распределения комплексного параметра $F(\theta_n)$ представляется суммой функций распределения

частных параметров t_n , S_n , D_r умноженных на соответствующие коэффициенты регрессии

$$F(\theta_n) = R_t F(t_n) + a_s R_s F(S_n) + a_D R_D F(D_r)$$

Значения коэффициентов регрессии определяющая на основе анализа двух рядов аномальных отклонений

$$\alpha_\theta = \alpha_t + a_s \alpha_s + a_D \alpha_D \quad (3.9)$$

$$\beta_\theta = \beta_t + a_s \beta_s + a_D \beta_D$$

где

α - аномальное отклонение параметра, взятое из функции распределения этого параметра при $K_{об}(\theta_n)$;

β - аномальное отклонение параметра, взятое из функции распределения комплексного параметра при том же значении $K_{об}(\theta_n)$;

В качестве примера в табл.3.2. приведены значения коэффициентов регрессии для среднемесячных параметров климата в отдельные месяцы, в условиях Ташкента.

Таблица 3.2

Коэффициенты регрессии параметров наружного климата

Коэффициенты для параметров	Месяцы года					
	I	III	IV	VII	IX	X
R_t	I	0,94	0,87	0,91	0,95	0,43
R_s	0,61	0,49	0,95	0,78	0,45	0,64
R_D	-0,65	0,33	0,96	0,21	-0,34	0,81

Величина параметра с заданной обеспеченностью тепловой нагрузки определяется по формуле

$$y = \bar{y} + R_y \alpha_y \quad (3.5)$$

где

\bar{y} - среднее многолетнее значение параметра;

α_y - аномальное отклонение параметра, соответствующее заданной величине $K_{об}(Q_c)$;
 R_y - коэффициент регрессии параметра.

**Функции распределения и годовой ход различной обеспеченности
суммарного теплового потока, проходящего через наружные ограждения в
Ташкенте**

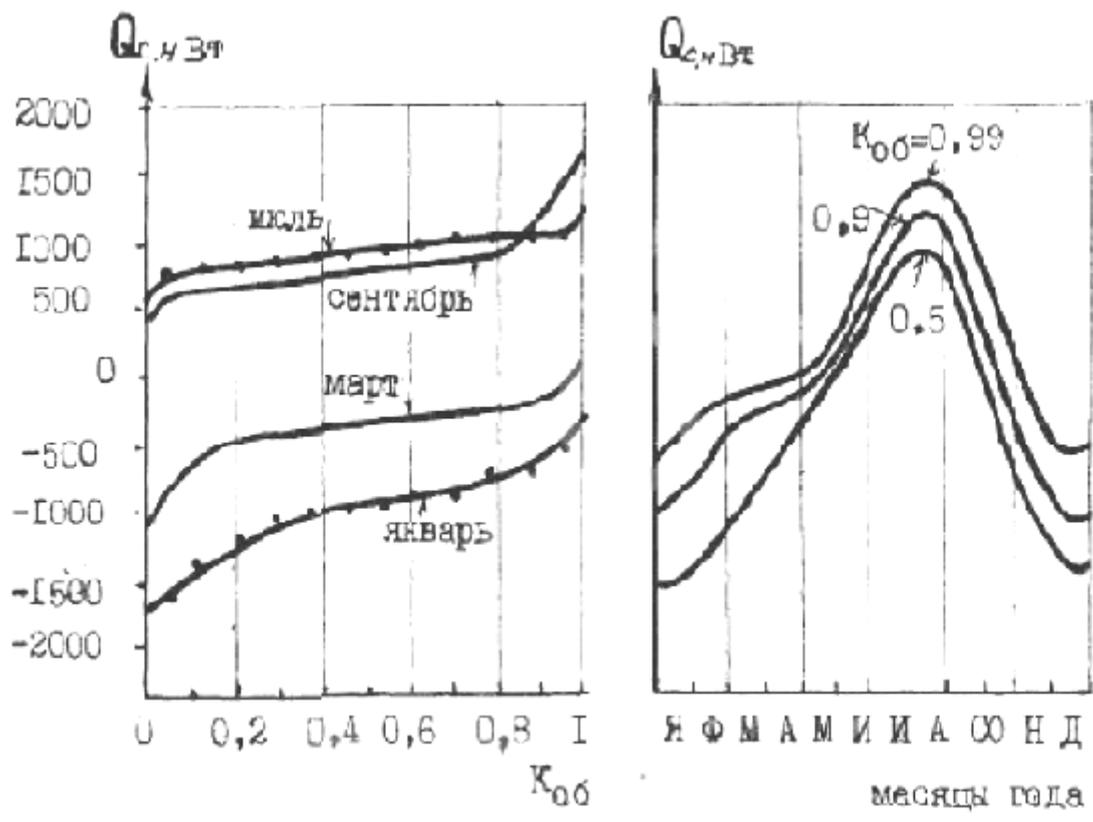


рис.3.9

На рис. 3.9. показаны функции распределения и годовой ход различной обеспеченности величины $Q_{c,н}$ для жилого дома в условиях Ташкента. Функции распределения, полученные на основе регрессионного анализа, показаны линиями, а точками обозначены данные, рассчитанные по данным для отдельных лет при конкретных теплотехнических характеристиках A_s и A_d

принятом примере. Хорошее совпадение линий и точек свидетельствует о правомерности предложенного метода определения характеристик обеспеченности годового хода параметров наружного климата.

3.3 Годовой расход энергии на отопление и охлаждение помещений и его обеспеченность

Потребление тепла на отопление и холода на охлаждение помещения связано со стабилизацией внутренних температурных условий. Требуемая тепловая мощность системы равна тепловой нагрузке и определение требуемого расхода энергии связано с рассмотрением годового изменения тепловой нагрузки. Продолжительность потребления тепла на отопление или отопительного периода соответствует части года, когда тепловая нагрузка на систему отопления больше 0. Продолжительность отопительного периода может быть установлена из численного или графического анализа среднемесячных значений средней за время работы тепловой нагрузки на систему. Предпочтительнее иметь аналитическую функцию изменения во времени года тепловой нагрузки. Для описания годового хода средней за время работы тепловой нагрузки на систему достаточно первой гармоники тригонометрического ряда

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{ср,г}} + a_a \cos \frac{2\pi}{365} z + b_a \sin \frac{2\pi}{365} z \quad (3.6)$$

где

$Q_{\text{ср,г}}$ - среднегодовое значение тепловой нагрузки, Вт;

a_a, b_a - амплитуды годового хода нагрузки, Вт;

Z- время в исчислении от 15 января, сут;

Значения амплитуд тепловой нагрузки определяются по формулам

$$a_a = Q_{co, I} - Q_{co, r} \quad (3.7)$$

$$b_a = Q_{co, IV} - Q_{co, X} \quad (3.8)$$

Формула (3.6) приводится к виду

$$Q_{co} = Q_{co, r} + A_a \cos\left(\frac{2\pi}{365} Z - \varepsilon_a\right) \quad (3.9)$$

$$A_a = \sqrt{a_a^2 + b_a^2} \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_a = \frac{365}{2\pi} \operatorname{arctg} \frac{b_a}{a_a} \quad (3.11)$$

Правомерность принятой аппроксимация годового хода тепловой мощности, потребляемое на отопление, подтверждается данными рис. 3.10, на котором приведено сопоставление аппроксимации (3.9) (линия) с результатами расчета среднесуточной тепловой нагрузки на систему отопления в отдельные месяцы года. По данным рис. 3.10 погрешность аппроксимации составляет от 3 до 8%, а в среднем по всем представленным данным - 5,4%, что можно считать вполне удовлетворительным для целей расчета годового расхода энергии. Следует отметить, также, что отклонение годового хода тепловой нагрузки от близкого к гармоническому связано в основном с характером изменения потоков тепла, поступающих от солнечной радиации. В расчетах, представленных на рис. 3.10, были приняты южные фасады здания, для которых влияние инсоляции на тепловую нагрузку в отопительном периоде наиболее ощутимо. Кроме того, годовое ход интенсивности прямой солнечной радиации на поверхности южной ориентации в наибольшей степени отличен от гармонического, что должно сказываться на закономерности годового хода тепловой нагрузки. Для фасадов других ориентации погрешность аппроксимации годового хода тепловой нагрузки не будет выходить за указанные выше пределы.

Принятая аппроксимация позволяет определить даты начала, сут.

$$Z_n = \varepsilon_a - \frac{365}{2\pi} \arccos\left(-\frac{Q_{co, r}}{A_a}\right) \quad (3.12)$$

и конца отопительного периода в сутках

$$z_n = \varepsilon_Q + \frac{365}{2\pi} \arccos \left(-\frac{Q_{co,r}}{A_Q} \right) \quad (3.13)$$

и продолжительности отопительного периода

$$\Delta z_{on} = z_k - z_n = \frac{365}{\pi} \arccos \left(-\frac{Q_{co,r}}{A_Q} \right) \quad (3.14)$$

Годовой расход тепла на отопление определяется интегрированием функции времени потребляемой тепловой мощности в пределах начала и конца отопительного периода:

$$\begin{aligned} Q_{от}^{год} &= M_{co} \int_{z_n}^{z_k} \left[Q_{co,r} + A_Q \cos \left(\frac{2\pi}{365} z - \varepsilon_Q \right) \right] dz = \\ &= M_{co} \left(Q_{co,r} \Delta z_{on} + 116 A_Q \sin \frac{\pi}{365} \Delta z_{on} \right). \end{aligned} \quad (3.15)$$

Анализ полученных формул позволил упростить их написание. Различные варианты формул для расчета продолжительности и годового расхода тепла на отопление приведены в Приложении 4. В табл. 3.3. приведено сопоставление величин продолжительности отопительного периода, определенного по данным рис.3.10. графически и по формуле (3.14). Дополнительно в табл. 3.10. приведены значения удельных на 1 м^2 площади фасада требуемых годовых расходов тепла на отопление для принятых на рис.3.10 вариантов расчета. Данные табл. 3.3. показывают возможность использования принятой аппроксимации. Правомерность аппроксимации подтверждается и данными табл. 3.4. в которой приведено сопоставление продолжительности отопительного периода и числа градусодней за отопительный период, рассчитанных по принятой аппроксимации и определениях по [107]. Характеристики отопительного периода, которые определены по переходу температуры наружного воздуха через $+8^\circ\text{C}$, практически совпадают в самых различных климатических зонах. Обеспеченность годового расхода тепла, в

отличие от обеспеченности тепловой нагрузки на систему, не только характеризует распределенность показателя по годам, но может быть одной из характеристик нормирования энергопотребления. Прежде всего это относится к планированию запасов топлива, которое должно базироваться на обоснованной величине коэффициента обеспеченности. Среди потребителей, очевидно, должна быть установлена категоричность, которой должны соответствовать коэффициенты обеспеченности отпуска тепловой энергии. Т.к. при технико-экономическом обосновании в расчет принимаются прогнозируемые расходы энергии, то в скрытом виде коэффициент обеспеченности годовых расходов энергии является экономическим фактором. Это обстоятельство требует специального исследования, ибо введение в экономические расчеты обеспеченности расходов энергоресурсов может существенно изменить представления о экономической целесообразности решений в области СКМ. При интегрировании функций годового хода тепловой нагрузки следует учитывать асинхронность распределения обеспеченности в отдельные месяцы отопительного периода, которая всегда имеет место. Появление какого-либо года или его части с одинаковой обеспеченностью параметров климата во всех месяцах маловероятно. Это обстоятельство, отмеченное в [31], иллюстрируется данными рис. 3.11., на котором приведены две функции распределения числа градусодней за отопительный период в Ургенче.

Из рис. 3.11. видно, что функция распределения (линия 2), построенная по результатам расчета суммы градусодней в отдельные года, существенно отлична от функции распределения (линия 1), построенной по годовому ходу температуры наружного воздуха с одинаковой обеспеченностью во всех месяцах года.

3.4 . Годовой расход энергоресурсов систем кондиционирования воздуха и его обеспеченность

Системы кондиционирования воздуха потребляют тепловую энергии на нагрев воздуха, искусственный холод на охлаждение воздуха, электроэнергию на

привод вентиляторов и циркуляционных насосов, водопроводную и обратную воду на обработку воздуха в оросительных камерах и градирнях. Многообразие конструктивных решений установок кондиционирования воздуха и СКВ, разнообразие режима работы систем определяют неоднозначность режима потребления энергоресурсов различными системами. Вместе с тем, можно выделить некоторые общие закономерности, позволяющие получить исходные формулы для расчета годовых затрат энергоресурсов.

Энергопотребление СКВ прямо связано с изменением в течение года параметров наружного воздуха. Системы кондиционирования воздуха в общем случае работают часть суток, причем рабочее время может приходиться на разное время. Поэтому при расчете годовых расходов энергии СКВ необходимо анализировать годовое ход параметров наружного воздуха в различные часы суток или средних значений за определенную часть суток (смену).

Анализ данных о температуре и энтальпии наружного воздуха, приведенных в [27] в виде средних за первую, вторую и третью смены (каждая продолжительностью 8 ч) показал, что годовой ход параметров удовлетворительно аппроксимируется тригонометрической функцией

$$y = y_r + A_y \cos\left(\frac{2\pi}{365} z - 197\right) \quad (3.16)$$

где y_r - среднегодовое значение параметра;

A_y - амплитуда параметра, определяемая как разность значений параметра в июле и январе

$$A_y = \frac{y_{\text{VII}} - y_{\text{I}}}{2} \quad (3.17)$$

z - время в сутках в исчислении от 1 января.

Летняя амплитуда, применяемая при расчете расхода холода СКВ, равна:

$$A_{y,\text{л}} = y_{\text{VII}} - y_r \quad (3.18)$$

Зимняя амплитуда, применяемая при расчете расхода тепла равна:

$$A_{y,\text{з}} = y_r - y_{\text{I}} \quad (3.19)$$

Характеристики годового хода влагосодержания могут быть получены по зависимости влагосодержания от температуры и энтальпии.

$$d = \frac{y - t}{2,53} \quad (3.20)$$

При определении годовых расходов энергии расчет следует проводить для каждого часа работы системы с последующим суммированием. Возможно определение расхода энергии и в упрощенной постановке, использующей средние за время работы системы значения параметров воздуха.

Выводы по 3 главе

1. Определяющим при расчете годовых расходов энергии системами кондиционирования микроклимата является вопрос выбора модели годового изменения параметров климата.
2. Использование для расчета годового расхода энергии системами кондиционирования воздуха вероятностного метода представления климатических параметров дает величину годового расхода с неопределенной обеспеченностью и потому не является корректным. Применение вероятностного метода, использующего функции распределения параметров, связано с рядом трудностей принципиального характера (многомерность распределения) и вычислительного порядка (специальная трудоемкая обработка климата). Этот метод не следует использовать при расчете годовых расходов энергии системами.
3. Наиболее отвечающим задачам и методологии настоящей работы является представление параметров наружного климата с помощью среднемесячных значений параметров наружного климата, достоинство которого состоит прежде всего в простоте и доступности подобных данных. Такие данные лишены принципиальной некорректности, отмеченной для вероятностной модели климата, однако обладают недостатком уменьшенной

информативности, который, впрочем, не является сколько-нибудь определяющим.

4. Годовой ход параметров наружного климата имеет определенные закономерности, в большей или меньшей степени выраженные для каждого параметра в различных климатических зонах. Выраженность годового хода позволяет в большинстве случаев использовать для аппроксимации годового хода параметров первую гармонику тригонометрического ряда, что, в свою очередь, дает простые аналитические решения при расчете годовых расходов энергии ЭКМ.

5. Анализ годового хода результирующей температуры наружной среды указывает на ощутимое влияние в течение значительной части года длинноволнового лучистого теплообмена на наружных поверхностях ограждений, наиболее значимое в южных климатических зонах.

6. Увеличить информативность среднемесячных параметров наружного климата можно путем рассмотрения междугодовой изменчивости характеристик климата на основе понятия обеспеченности годового хода.

7. Анализ обеспеченности годового хода параметров наружного климата и обусловленных ими тепловых потоков, проходящих через наружные ограждения, свидетельствуют о существенной распределенности по годам величин тепловых потоков. При этом отклонения величин потоков от средних многолетних сопоставимы с величинами средних многолетних.

8. Характер годового изменения тепловой нагрузки на системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха может быть систематизирован в виде двух типовых графиков, в зависимости от режима работы основное и фоновой системы.

9. Анализ годового хода тепловой нагрузки на системы отопления для представительных климатических зон показал возможность гармонической аппроксимации, на основе которой построен метод расчета годового расхода

тепла на отопление, позволяющий получить величины расхода при разных способах отпуска тепла на отопление.

Глава четвертая. Эффективность энергосберегающих мер в системе кондиционирования микроклимата

Под энергетической эффективностью сберегающих мер понимается экономия энергетических ресурсов, возможная при соблюдении ограничивающих условий. Обоснование мер требует наряду с гигиеническими и техническими ограничениями, определить условия их экономической целесообразности.

4.1 Экономически целесообразный уровень теплозащиты, размеры ориентация здания

Анализ влияния параметров здания на энергопотребление показал, что в наибольшей степени годовой расход энергии зависит от теплозащиты и герметизации наружных ограждений, степени остекления фасадов и соотношения размеров здания в плане и по высоте при соответствующей ориентации сторон. Варьирование названных конструктивных характеристик сказывается на изменении капиталовложений в ограждения и системы отопления-охлаждения здания. Поэтому задача их выбора является технико-экономической.

Экономический целесообразное решение должно удовлетворять условию минимума приведенных затрат. При оптимизации уровня теплозащита здания функцию приведенных затрат целесообразно [10] представить в виде

$$П = \mu C + \xi Э \quad (4.1)$$

где

C - капиталовложения в ограждения или систему, сум;

\mathcal{E} - эксплуатационные затраты на ограждение и системы, сум/год;

ε - коэффициент приведения эксплуатационных расходов;

m - коэффициент срока службы конструкции или системы;

Известно, что функция приведенных затрат от параметров здания не является монотонной и рассматриваемая задача является задачей параметрической оптимизации. Теплозащитные свойства ограждений характеризуются коэффициентами теплопередачи k_i , величины которых не должны превышать значения $k_{i,тр}$, соответствующие требуемому сопротивлению теплопередаче. Введем переменный параметр

$$\Psi = \frac{k_i}{k_{i,тр}} \quad (4.2)$$

на который налагается ограничение $\Psi \leq 1$. Исходя из вывода, эффективности пропорционального усиления теплозащиты всех ограждений здания, предложенный параметр можно считать численной характеристикой уровня теплозащиты здания. По мере снижения Ψ от 1 уровень теплозащиты будет возрастать. Степень остекления фасадов в настоящей работе принято характеризовать коэффициенте φ . Величина ограничивается минимальным значением $\varphi_{мин}$ исходя из обеспечения условий естественной освещенности в помещениях. Верхняя граница $\varphi_{мак}$ определяется условиями комфортности тепловой обстановки. Решение задачи выбора экономически целесообразных значений, принятых к рассмотрению параметров, состоит в исследовании функции П нескольких переменных на экстремум с учетом ограничений. Принципиально возможно записать функцию приведенных затрат от всех названных параметров, однако такая запись будет очень громоздкой. Поэтому решение разобьем на части, не нарушая при этом целостность задачи. На первом этапе определим целесообразные значения Ψ и φ для каждого фасада здания, на втором - целесообразные значения размеров А и В и высоты здания Н в целом.

При определении Ψ и φ для фасадов различной ориентации ограничимся

рассмотрением задачи только для холодной части года. Приведенные затрат на ограждения и СО в функции параметров теплозащиты, отнесенные к 1 м^2 площади фасада, равны

$$\begin{aligned} \Pi = & (M + A_{\text{нс}} \varepsilon) \left(C_{\text{нс,тр}} + \frac{\Delta C_{\text{нс}}}{\Psi} \right) (1 - \varphi) + (M + A_{\text{ок}} \varepsilon) \left(C_{\text{ок,тр}} + \frac{\Delta C_{\text{ок}}}{\Psi} \right) \varphi + \\ & + (M + A_{\text{со}} \varepsilon) C_{\text{со}} (q_{\text{нс}}^p + \Delta q_p \varphi) \Psi + \varepsilon C_{\text{т}} \frac{M_{\text{со}}}{\eta_{\text{со}}} \Psi \left[\text{НБ} (q_{\text{нс}}^{\text{т}} + \Delta q_{\text{т}} \varphi) + \right. \\ & \left. + 66,5 \frac{(q_{\text{нс}}^{\text{т}} + \Delta q_{\text{т}} \varphi)(q_{\text{нс}}^{\text{г}} + \Delta q_{\text{г}} \varphi)}{(q_{\text{нс}}^{\text{т}} + \Delta q_{\text{т}} \varphi) - (q_{\text{нс}}^{\text{г}} + \Delta q_{\text{г}} \varphi)} \right] - \varepsilon \Delta N_{\text{год}} \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\text{мин}}} \Psi - 1 \right) C_{\text{э}}, \text{ руб./м}^2, \end{aligned} \quad (4.3)$$

где

$A_{\text{нс}}, A_{\text{ск}}, A_{\text{со}}$ - доли отчислений на амортизацию и текущий ремонт наружных стен, окон и системы отопления;

$C_{\text{нс,тр}}, C_{\text{ок,тр}}$ - удельные капиталовложения в наружные стены и окна, соответствующие требуемому сопротивлению теплопередаче, сум/ м^2 ;

$\Delta C_{\text{нс}}, C_{\text{ок}}$ - удельное удорожание стен и окон при переходе от требуемого к меньшему сопротивлению теплопередаче, сум/ м^2 ;

$C_{\text{т}}, C_{\text{э}}$ - стоимость тепловой и электрической энергии, сум /Втч;

ΔN - удельное сокращение годового расхода электроэнергии на освещение при увеличении естественной освещенности помещения, кВтч/ м^2 ;

$C_{\text{ос}}$ - удельная стоимость системы отопления, сум /Вт;

$q_{\text{нс}}, \Delta q$ - характерные тепловые потоки, проходящие через окна и стены, Вт/ м^2

Зависимость экономически целесообразной степени остекления фасадов здания в условиях Ташкента

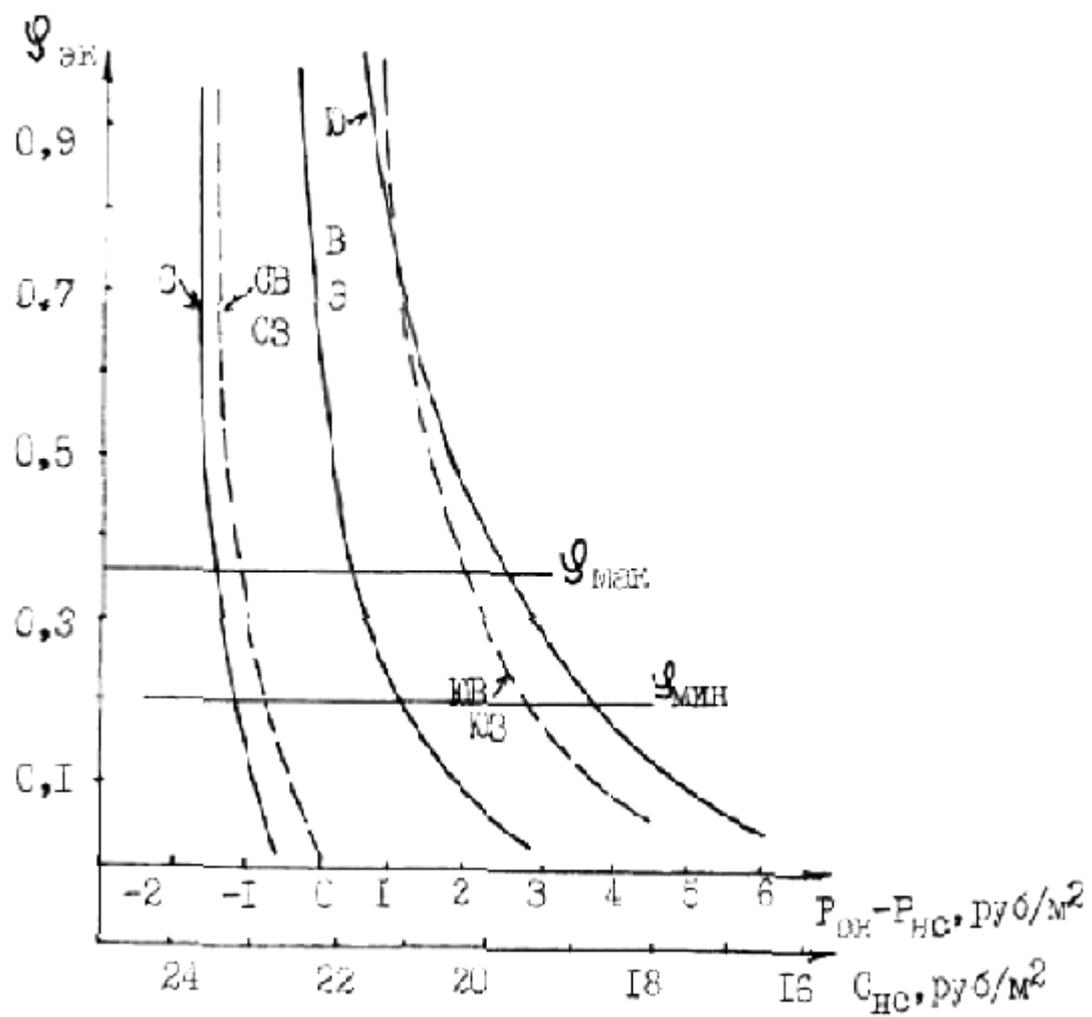


рис.4.1

4.2 Эффективность мер по сокращению тепловой нагрузки на СКМ

Рассмотренная в предыдущем разделе методика выбора конструктивных параметров и параметров теплозащиты здания позволяет однозначно определить экономически обоснованный уровень теплоснабжения на отопление.

Полученные выводы могут быть в основном распространены и на общественные здания. В общественных зданиях действуют две системы - СО и СВ или СКВ. Назначение двух последних состоит прежде всего в обеспечении воздухообмена в помещении, потому в идеале расход воздуха в них должен быть минимальным, требуемым по санитарной норме. При таком расходе воздуха выполнение СВ и СКВ функций термостабилизирующие систем в течение года возможно при максимальном снижении тепловой нагрузки, о чем свидетельствуют данные раздела. В принятой постановке, когда расход воздуха

в СВ и СКВ определяется санитарной нормой, экономические показатели систем не зависят от конструктивных параметров и уровня теплозащиты здания, что не требует внесения корректив в разработанный метод выбора последних. Однако при этом должны быть определены и оценены с экономической точки зрения мероприятия по снижению тепловой нагрузки, которые позволяли бы обходиться минимальным количеством воздуха в СВ и СКВ.

Снижение тепловой нагрузки на СВ и СКВ в теплое время года достигается использованием солнцезащитных устройств. Учет капиталовложений в нестационарную солнцезащиту при выборе параметров здания вряд ли целесообразен [40]. Стационарные солнцезащитные устройства приводят к удорожанию наружных стен и увеличению расхода тепла на отопление. Оба эти фактора могут быть учтены подстановкой в формулы (4.4) и (4.5) соответствующих значений, уточнение которых однако не внесет существенного изменения в результат. В средних широтах влияние солнцезащиты на годовой расход мало из-за общего малого влияния солнечной радиации в холодный период года на ТН. В южных районах, где влияние солнечной радиации на ТН велико, в том числе и в холодное время года, малым оказывается годовой расход тепла на отопление. Кроме того, влияние солнцезащиты на расход энергии в холодное время года снижается при малой степени остекления фасадов.

При оценке экономических условий использования вентилируемых окон возможны два случая. В первом, когда по нормам в здания следует применять двойные окна, переход к тройному остеклению связан с дополнительными капиталовложениями в окно. Во втором, когда тройные окна в помещении соответствуют требуемому сопротивлению теплопередаче, дополнительные вложения в окна отсутствуют. В обоих случаях сокращается воздухообмен в помещении в теплое время года, а следовательно капиталовложения в СВ или СКВ, и имеется экономия электроэнергии и расхода искусственного холода. В

первом случае, кроме того переход к тройному остеклению дает существенную экономию тепла на отопление. Во втором случае, экономия тепла на отопление невелика. За счет сокращения расхода воздуха в обоих случаях экономится тепло на нагрев вентиляционного воздуха. Однако такая экономия возможна, если вытяжной воздух не направляется на рециркуляцию или нет утилизация его тепла.

Обобщая изложенное, отметим, что при выполнении условия, которое определяет возможность применения вентилируемых окон только при отсутствии рециркуляции и утилизации тепла вытяжного воздуха, энергетическая эффективность этой меры снижения ТН на СВ и СКВ оказывается достаточно высокой. Достижимое при этом сокращение расхода воздуха позволяет сократить расход энергии на его обработку и перемещение на 14%, а также обеспечивает сокращение приведенных затрат, что говорит и об экономической эффективности вентилируемых окон.

Использование ночного проветривания помещений общественных зданий для снижения тепловой нагрузки на СВ и СКВ в теплое время года не требует дополнительных капиталовложений. Поэтому нет надобности в оценке экономических условий целесообразности проветривания, а можно ограничиться лишь рассмотрением энергетических условий.

Критерием целесообразности ночного проветривания может служить отношение годового расхода электроэнергии на охлаждение и перемещение воздуха в системах в двух рассматриваемых случаях.

Для приточных систем вентиляции расход электроэнергии связан только с приводом вентилятора и относительный годовой расход энергии равен

$$\bar{N}_{\text{год}}^A = \left(\frac{\mathcal{L}_2}{\mathcal{L}_1}\right)^3 \left[1 + \Delta \bar{Z}_2 \left(\frac{1}{m} - 1\right)\right] = \left(\frac{\mathcal{L}_2}{\mathcal{L}_1}\right)^3 \bar{N}^A \quad (4.5)$$

$$\bar{N}_{\text{год}}^A = \left(\frac{3600}{7720}\right)^3 \left[1 + \frac{84}{365} \left(\frac{1}{0,375} - 1\right)\right] = 0,14 \quad (4.6)$$

Приняв для рассмотренного примера потери давления в вентиляционной сети

$P_n=400$ Па, $\Delta\bar{Z}_{x1} = \frac{46}{365}$, $\Delta t_{cp}=1^\circ\text{C}$, получим $\bar{n} = 0.64$ и при $\Delta\bar{Z}_{x1} = \frac{84}{365}$

$$\bar{N}_{\text{год}}^B = \frac{3600}{4380} * \frac{1 + \frac{46}{365} * 0,64 + \frac{84}{365} * \frac{1}{0,375} - 1}{1 + \frac{46}{365} * 0,64} = 0,75$$

Т.е. использование ночного проветривания энергетически оказывается целесообразным. Использование ночного проветривания, позволяющее сократить расход приточного воздуха, приводит к сокращению капиталовложений в СВ и СКВ. Поэтому можно утверждать, что рассмотренная мера снижения ТН является экономически целесообразной.

В рассмотренных примерах годовая экономия электроэнергии при использовании ночного проветривания составила для СВ 1550 кВтч/год или 83%, а для СКВ 177 кВтч или 15%. С учетом экономии искусственного холода сокращение годового расхода электроэнергии в СКВ достигает 25%.

Помимо энергетической эффективности вентилируемых перекрытий можно говорить об их конструктивном преимуществе, позволяющем снизить высоту этажа на счет отказа от подвесных потолков, в которых прокладываются воздуховоды. Экономическая целесообразность использования вентилируемых перекрытий очевидна. Дополнительные капиталовложения, связанные с присоединением пустот в перекрытиях к сети воздуховодов и устройством воздухораспределительных отверстий в перекрытиях не могут быть сопоставимы с сокращением капитальных вложений в систему и экономией энергии, не говоря об отказе от подшивных потолков.

Вентилируемые перекрытия могут быть кроме того эффективно использованы и для снижения расхода тепла на нагрев вентиляционного воздуха в холодное время года.

Снижение тепловой нагрузки на СВ и СКВ, позволяющее сократить воздухообмен в теплое время года практически до санитарной нормы, должно сопровождаться снижением нагрузки на системы в холодное время года. Иначе,

в холодное время года не будет возможности сократить воздухообмен до минимального по санитарной норме и получить экономию энергия СВ и СКВ.

4.3 Эффективность энергосберегающих режимов работы систем

При оценке экономической эффективности разных способов регулирования СО, СВ и СКВ следует учитывать технические и гигиенические ограничения, налагаемые на условия и возможности юс осуществления.

Условие энергетической целесообразности прерывистого отопления сформулируем в виде неравенства

$$\bar{Q}_{\text{по}} = \frac{Q_{\text{по}} \text{ м}}{Q_{\text{со}}} < 1 \quad (4.7)$$

где

$Q_{\text{со}}$ - требуемая тепловая мощность системы отопления, работающей без перерывов, Вт;

$Q_{\text{по}}$ - требуемая тепловая мощность системы прерывистого отопления, Вт;

Тепловая мощность круглосуточно работающей системы отопления зависит от способа ее регулирования. При центральном регулировании по отопительному графику $Q_{\text{со}}$ можно определить равной теплотерям при минимально допустимой температуре внутреннего воздуха $t_{\text{в.мин}}$. Тогда условие (4.7) преобразуется к виду

$$\bar{Q}_{\text{по}} = m \left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\eta_{\text{с}} \Delta t_{\text{в}}} - \frac{Q_{\text{в,м}}}{k \Delta t_{\text{в}}} \frac{\eta_{\text{в}}}{\eta_{\text{с}}} \right) < 1 \quad (4.8)$$

При индивидуальном регулировании СО условие (4.7) приобретает вид

$$Q_{\text{по}} = m \frac{\frac{1}{\eta_{\text{с}}} - \frac{Q_{\text{в,м}}}{k(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})} \frac{\eta_{\text{в}}}{\eta_{\text{с}}}}{\frac{1}{\eta_{\text{сг}}} - \frac{Q_{\text{в,м}}}{k(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})} \frac{\eta_{\text{в}}}{\eta_{\text{сг}}}} < 1 \quad (4.9)$$

Приведенный анализ экономической целесообразности регулирования СВ и СКВ по концентрации углекислого газа имеет отношение к осуществлению другого энергоэкономичного режима работы систем периодического проветривания. Такой способ вентиляции имеет много преимуществ перед работой СВ и СКВ с переменным расходом воздуха, связанных прежде всего с большей простотой и надежностью.

Применение ПВ, также, как и СПР возможно в том случае, если воздухообмен в помещении превышает минимально допустимый. Осуществление ПВ не требует переоборудования системы или переустройства ее автоматизации. Дополнительные затраты связаны с доукомплектованием существующей схемы автоматизации газоанализатором при наиболее надежном способе регулирования по концентрации углекислоты.

4.4 Рекомендации по сокращению энергопотребления при выборе систем кондиционирования микроклимата общественных зданий

Как отмечалось выше, использование тепла солнечной радиации для теплоснабжения зданий имеет пока ограниченную экономическую целесообразность. Среди таких систем более простыми и надежными представляются гелиовоздушные системы. Наибольший эффект от применения

гелиосистем достигается в условиях теплого климата, для которых и приведено рассмотрение режима работы гелиовоздушной СО в настоящей работе.

Экономическая эффективность использования тепла солнечной радиации в централизованных системах теплоснабжения в настоящее время представляется сомнительной. Такие системы требуют сезонной аккумуляции тепла, устройство которой сопряжено с большими капиталовложениями. Вместе с тем, расчеты по некоторым экспериментальным проектам, осуществленным за рубежом, показывают, что капиталовложения в системы солнечного теплоснабжения окупаются в течение 8-9 лет.

Более обнадеживающий результат может быть получен, если в качестве альтернативного принять вариант отдельной малой котельной, капиталовложения в которую будут примерно в 8 раз больше удорожания районной котельной. Но и в этом случае приведенные затраты на солнечное теплоснабжение окажутся больше альтернативных.

Следует отметить, что экономическая эффективность централизованного теплоснабжения с использованием сезонной аккумуляции тепла солнечной радиации может быть более очевидной в средних климатических условиях, в которых достигается во много раз большая экономия тепла на отопление, чем в рассмотренных для Средней Азии.

Оценивая условия экономической целесообразности привлечения тепла солнечной энергии как дополнительного источника энергии для КМ, отметим предпочтительное использование его в зданиях индивидуальной застройки, оборудованных простейшими гелиоприемниками и аккумуляторами. Гелиосистемы позволяют экономить 60-80% тепловой энергии (в условиях Средней Азии).

Применение ТНУ оказывается наиболее эффективным, когда холодильная машина используется круглогодично для комплексной выработки тепла и холода. При этом достигается значительная экономия энергия, как например, в рассмотренном примере - до 43%.

Пример:

Определять годовые расходы теплоты, холода и электроэнергии центральной СКБ, работающей 5 дней в неделю, 9 ч в сутки, с 8 до 17 ч (время истинное) в условиях Ташкента. Расход воздуха -12000 кг/ч, расход наружного воздуха - 6000 кг/ч. Энтальпия воздуха: внутреннего в теплый период $J_{p,h}=52$ кДж/кг, в холодный период $J_{f,h}=40$ кДж/кг, на выходе из оросительной камеры в теплый период $J_{f,h}=35$ кДж/кг в холодный период $J_{f,c}=25$ кДж/кг, то же выходе из воздухонагревателя первого подогрева, смещение наружного и внутреннего воздуха после подогрева наружного от $J_k=10$ кДж/кг. Среднегодовые избытка теплоты $Q_{j,mlt}=32000$ Вт.

Мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора СКВ 2 кВт, мощность, потребляемая электродвигателем рециркуляционного вентилятора 1 кВт.

Решение:

Для Ташкента среднее значение энтальпии наружного воздуха самого жаркого месяца $J_c=6$ кДж/кг, среднегодовая $J_{f,h}=27,7$ кДж/кг,

Амплитуда энтальпии самого жаркого месяца $J_{j,h}=5,9$, самого $J_{j,c}=4,8$ кДж/кг.

При продолжительности рабочего времени $m=9$ ч и времени середины рабочей части суток $\frac{8+17}{2} = 12,5$ ч , $K_1=0,79$, $K_2=0,79$

Средняя за рабочее время энтальпия наружного воздуха: самого жаркого месяца по формуле:

$$J_h=51,3+5,9 \times 0,79 \times 0,78=54,9 \text{ кДж/кг}$$

-самого холодного месяца по формуле:

$$J_c=6+4,8 \times 0,79 \times 0,78=9 \text{ кДж/кг}$$

-среднегодовая по формуле:

$$J_j=27,7+0,5(5,9+4,8)0,79 \times 0,78=31 \text{ кДж/кг}$$

Продолжительность периода потребления холода по формуле

$$M = 182,5 \left(\frac{54,9 - 35}{54,9 - 31} \right)^{0,5} = 167 \text{сут}$$

При $M=167$, $K_3=0,98$, $K_4=0,67$,

$$Q_j=0,143 \times 5 \times 9 \times 1200(54,9-35)167 \times 0,98 \times 0,65=163 \text{ ГДж/кг}$$

Число часов потребления холода в год по формуле

$$M_j=0,143 \times 5 \times 9 \times 167 \times 0,98=1053, \text{ при потреблении холода в среднем } 1053,1/167=6,3$$

Продолжительность периода использования первой рециркуляции в теплое время года по формуле

$$M = 182,5 \left(\frac{54,9 - 52}{54,9 - 31} \right)^{0,5} = 64 \text{сут}$$

При $M=64$ сут, $K_3 = 0,91$, $K_2 = 0,65$, годовая экономия за счет применения рециркуляции воздуха по формуле

$$\Delta Q_j=0,143 \times 5 \times 9(12-6)10^3(54,9-54)64 \times 0,91 \times 0,65=4,2 \text{ ГДж/кг}$$

Годовой расход холода системой с первой рециркуляцией по формуле

$$Q_j=163-4,2=158,8 \text{ ГДж/кг}$$

Продолжительность периода работы воздухонагревателя первого подогрева по формуле

$$M = 182,5 \left(\frac{25 - 9}{31 - 9} \right)^{0,5} = 156 \text{сут}$$

$$Q_1=0,143 \times 5 \times 9 \times 12000(25-9)156 \times 0,98 \times 0,65=122,7 \text{ ГДж/кг}$$

Число часов работы первого подогрева по формуле

$$M=0,143 \times 5 \times 9 \times 156 \times 0,98=984 \text{ч}$$

$$Q_j=0,143 \times 5 \times 9 \times 6000(10-9)39 \times 0,91 \times 0,78=1,1 \text{ ГДж/кг}$$

где: 2346 - число часов работы вентилятора по формуле

$$M_j=0,143 \times 5 \times 9 \times 365=2346 \text{ ч}$$

Годовое число часов работы вентилятора, перемещающего рециркуляционный воздух определяем как суммарное число часов работы системы с

рециркуляцией в теплое и холодное время года $375-1-228=60,3$ и годовой расход электроэнергии вентилятором по формуле

$$M_j=1 \times 603=603 \text{ кВт.ч}$$

Выводы по главе 4

1. Анализ результатов расчета экономически целесообразных размеров здания показал, что они существенно, зависят от стоимости ограждение. Оптимальная

форма здания соответствует квадрату в плане. В связи с этим ориентация здания не играет большой роли.

2. Анализ экономической.. целесообразности мер по снижению тепловой нагрузки на системы показал их высокую эффективность. Экономия энергии при осуществлении этих мер, как правило, сопровождается снижением приведенных затрат.

3. Область экономической целесообразности энергоэкономичных способов регулирования СО, СВ и СКВ широка. Даже при незначительной экономии тепловой энергии за счет применения по фасадных регуляторов в жилых зданиях они оказываются экономически целесообразными, как в средних, так и в южных климатических условиях.

4. Использование прерывистого отопления позволяет несколько сократить расход энергии. Экономическая целесообразность прерывистого отопления ограничена и имеет место лишь при длительное продолжительности работы системы в прерывистом режиме.

5. Использование тепла солнечной радиации для кондиционирования микроклимата имеет ограниченную экономическую целесообразность. В этом смысле предпочтительнее являются простейшие гелиосистемы отопления в зданиях индивидуальной застройки, в частности, с воздушными гелиоприемниками.

6. Осуществление энергосберегающих мер в структуре СКМ дает большой энергетический эффект и является оправданным с экономической точки зрения.

Литература

1. И. А. Каримов. Узбекистан на пороге достижения независимости. Узбекистан, Ташкент 2012 год
2. И. А. Каримов. Узбекистан на пороге XXI века. Узбекистан, Ташкент 1991 год.
3. Постановление кабинета министров Республики Узбекистан 02.12.2003 года № 538.
4. Указ Президента Республики Узбекистан от 6 мая 2003 г. №УП – 3240 «об основных направлениях дальнейшего углубления экономических реформ в капитальном строительстве»
5. Информационная служба Госкомприроды РУз
6. Народное слова. Газета 16 марта 2013г
7. Абдуллаев К., Рашидов Ю.К. Энергосберегающие системы вентиляции и кондиционирования воздуха с комбинированными аппаратами косвенно-испарительного охлаждения и утилизации теплоты.- Ташкент, 1994
8. А.Я.Креслинь. Оптимизация энергопотребления системами кондиционирования воздуха. Рига.1982.
9. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. -М., Высшая школа, 1982.
10. Богословский В.Н. Тепловой режим зданий. -М., Стройиздат, 1979.
11. Богословский В.Н., Поз М.Я. Теплофизика аппарата утилизации тепла системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха М., Стройиздат. – 1983
12. Богуславский Л.Д. Снижение расхода энергии при работе систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. -М.: Стройиздат, 1962
13. Богуславский Л.Д. Экономика теплозащиты зданий.- И.; Стройиздат, 1971

14. Гоголин А.А. Об оптимизации работы установок кондиционирования воздуха. -Холодильная техника.-1982
15. Грачев Ю.Т. Основы оптимизации систем кондиционирования микроклимата помещений. Пермь. 1987
16. Дзелзитис Э.Э., Вилцапс А.А. Опыт внедрения энергосберегающей технологии обработки воздуха на системах кондиционирования микроклимата Огрского трикотажного комбината.- В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха. -Сборник научных трудов.- Рига, изд. РПИ, 1982
17. Ильин В.П. Рекомендации по проектированию систем вентиляции кондиционирования воздуха с вращающимися регенераторами Ташкент.: ТашЗНИИЭП, 1982
18. Карпис Е.Е. Повышение эффективности работы систем кондиционирования воздуха.- М. ;Стройиздат 1977
19. Карпис Е.Е., Поз М.Я., Грановский В.Л. Методы расчета тепломассообмена в регенеративных и рекуперативных воздухо-воздушных теплообменниках- утилизаторах. Водоснабжение и санитарная техника.-1980
20. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха.-М.;Стройиздат,1984
21. Карпис Е.Е, Сидоров Э.А. Экономия тепла на отопление зданий при тройных вентилируемых окнах. Водоснабжение и санитарная техника.- 1978
22. Кокорин О.Я., Малахов М.А. Методика определения годовых расходов холода и электроэнергии в системах кондиционирования воздуха- Труды ЦНИИПромзданий.- М. : 1973
23. Кокорин О.Я., Ставицкий Л.И., Кронфельд Я.Г. Кондиционирование воздуха в многоэтажных зданиях.- М. :Стройиздат,1981

24. Креслань А.Я. Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха.-М.:Стройиздат,1972
25. Креслинь А.Я. Оптимизация энергопотребления системами кондиционирования воздуха-Рига.:РПИ,1962
26. Креслинь А.Я. Продолжительность потребления тепла и холода системами кондиционирования воздуха. В кн.: Вентиляция и кондиционирование воздуха.-Рига.:РПИ,1969
27. КМК 2.08.04.-04. Административные и бытовые здания
28. КМК 2.09.04.-98. Административные и бытовые здания
29. КМК 2.01.17.-95. ГО
30. КМК 2.08.02-96 Общественные здания и сооружения. Госкомархитекстрой Республики Узбекистан. Ташкент 1996
31. КМК 2.04.08-96. Защита от шума. Госкомархитекстрой Республики Узбекистан. Ташкент 1996.
32. Каталог ВЕЗА
33. Каталог кондиционера КЦТ – 3. 2009 г. Москва.
34. Каталог кондиционера КЦКП Веза, 2001 г. Москва.
35. Каталог YORK. AIR CONDITIONING PRODUKTS. ISSUE 3. 2000 г.
36. Мсхалая Ж.И. Математическое моделирование теплового режима зданий в годовом цикле с целью экономии энергии на обогрев и охлаждение помещений.- Изв. вузов, 1966
37. Отопление и вентиляция. Ч.2.Вентиляция. Под ред. В.К.Богословского.- 4-е изд.-М. :Стройиздат, 1976
38. Пекер Я.Д. Математическое моделирование микроклимата зданий. (обзорная информация).-М.:ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре , 1970
39. Пекер Я.Д., Локшин СВ. Методы определения годовых расходов энергии, потребляемых системами кондиционирования воздуха.- Сб. научн. трудов.-Киев, :КиевЗНИИЭП, 1972

40. Пекер Я.Д., Мардер Б.Я. Повышение эффективности теплоизоляции зданий.-Киев.:Будивельник,1973
41. Рымкевич А.А., Халамайзер М.Б. Управление системами кондиционирования воздуха.-М.Машиностроение,1979
42. Рымкевич А.А. Математическая модель системы кондиционирования воздуха.-Холодильная техника.-1981
43. Рашидов Ю.К. «Адсорбционная гелиохолодильная установка периодического действия». А.с. 661199, 1979, №17
44. Рашидов Ю.К. «Гелиoadсорбционная холодильная установка» А.с. 808794, СССР-Опубл.в Б.И., 1981 №4
45. Сотников А.Г. Системы кондиционирования и вентиляции с переменным расходом воздуха.-Л.:Стройиздат,1984.
46. Сотников А.Г., Эльяшев З.Ш. Определение технологических составляющих тепловой нагрузки объектов кондиционирования.-Холодильная техника. -1981.
47. Титов В.П., Сазонов Э.В.,Краснов Ю.С. Новожилов З. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий.-М.:Стройиздат,1985
48. Харкнесс Е., Мехта М. Регулирование солнечной энергии в зданиях Стройиздат, 1984
49. Хомутецкий Ю.Н..Куксинская Т.В. Комфортный динамический микроклимат э помещениях. -Водоснабжение и санитарная техника.4,1., 1979
50. Хрилев Я.С. Методика определения обеспеченности мощности теплоагрегатов с противодавлением при отопительной нагрузке.- Электрические станции.М. :Энергия, 1965
51. Хрилев Л.С- 0 влиянии климатологического фактора на перспективную структуру топливно-энергетического баланса.-Теплоэнергетика.-М., 1966.
52. Чистович С.А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления.-Л.:Стройиздат,1975

53. Шкловер А.М., Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. М.-Л. :Госэнергоиздат,1961.
54. Шкловер А.М., Васильев Б.Ф., Ушков Ф.В. Основы строительной теплофизики жилых и общественных зданий. :Госстройиздат, 1956
55. Шпиз Б.Г. Современные системы автоматизации центральных кондиционеров. (обзорная информация)-М. :ЦНИТЭстроймаш,1979
56. Щелкунов С.А. Исследование теплового режима помещения применительно к задачам регулирования систем кондиционирования.- Дасс. канд.техн.наук.М. ,1972
57. Энергия окружающей среды и строительное проектирование. Под ред.В.К.Богословского, Л.Л.Махова.-М. ;Стройиздат, 1983.
58. Юрманов Б.Н, Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.-Л.:Стройиздат,1976
59. Яблонин Б. Б. Эффективность применения комбинированных светопроемов с принудительно вентилируемым межстекольным пространством.- Автореф.дисс.канд. техн.наук.М. ,1988
60. Янкелев Я.Ф., Гулабянц Л.А. Расчет теплопоступлений через инсолируемое остекление.-Водоснабжение и санитарная техника.-1968

Интернет сайты

1. http://geographia.com.ua_joomla_3.0_design
2. email: uztp@proekt.uz
3. web: www.proekt.uz
4. www.press-service.uz
5. www.press-service.uz/ru/.../doklad_prezidenta_respubliki_uzbekist_1/
6. library.tuit.uz/skanir_knigi/book/davlat_va_hukuk.../glav_rus_2.htm
7. www.lex.uz/Pages/GetAct.aspx?lact_id=217633