

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ СОЗДАНИЯ
ЭФФЕКТИВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО - УПРАВЛЯЮЩИХ
СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА НА
ЗАМКНУТЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКАХ**

Специальность: **3338.01- системный анализ, управление и
разработка информации (по отраслям)**

Отрасль науки: **Технические**

Соискатель: **Матанат Вагиф гызы Гусейнова**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии

Баку – 2022

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Компьютерные технологии и кибербезопасность» Азербайджанского Технического Университета и часть работа была выполнена в Научно Исследовательском Институте Аэрокосмической Информатики Национального Аэрокосмического Агентства.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хикмет Гамид оглы Асадов

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Наиля Фуад кызы Мусаева

доктор технических наук, доцент
Зарифа Гасым кызы Джабраилова

доктор философских наук, доцент
Конюль Имран кызы Джаббарова

Диссертационный совет ED 2.41 действующий при Азербайджанском Техническом Университете Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики

Председатель диссертационного совета:
доктор технических наук, профессор


Вагиф Алиджавад оглы Касумов

Ученый секретарь диссертационного совета:
кандидат технических наук, доцент


Вахид Кара оглы Фархадов

Председатель научного семинара:
доктор технических наук, профессор


Саядин Мешади оглы Джафаров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень проработанности темы. На современном уровне развития общества организации адекватных условий на рабочих местах отводится особое внимание. С развитием передовых технологий растет необходимость учета специфики труда на рабочих местах с повышенным уровнем опасности в производственных помещениях, что обуславливает важность и значение создания оптимального микроклимата в помещениях. Работоспособность человека в значительной степени зависит от микроклимата на рабочем месте. Указанное обстоятельство диктует необходимость оснащения рабочих помещений качественными системами управления воздушной средой внутри производственных и жилых помещений. Согласно ГОСТ 12.1005 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» микроклимат помещений определяется действующими на организм человека температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. Микроклимат производственных помещений определяется сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения, а также некоторых физических факторов, определяющих самочувствие, работоспособность и производительность человека и формируется под воздействием потоков тепла, влаги, газовых смесей, направленных в помещение из внешней среды. Активная жизнедеятельность человека включает целенаправленную профессиональную работу в конкретных производственных условиях, ненадлежащий выбор которых может неблагоприятно повлиять на трудовую активность и здоровье работника. Трудовая активность человека и его производительность постоянно меняется в связи с развитием техники и технологий. Все это повышает ответственность работодателей за создание

благоприятного микроклимата на рабочих местах. Факторы, формирующие микроклимат в помещениях делятся на две группы: нерегулируемые климатические факторы и регулируемые технические и технологические факторы. Применительно к созданию микроклимата в рабочих помещениях решающее значение принадлежит к факторам второй группы. Используемые в настоящее время методики расчетов и проектирования систем микроклимата в производственных помещениях основаны на использовании расчетных величин, справедливых для установленных режимов работы. Однако, микроклиматические процессы, являясь взаимосвязанными во времени, зависят от целого ряда влияющих факторов и параметров. Значительное количество параметров, обуславливающих формирование микроклимата определяют сложность и системность решаемых в диссертации задач. Поэтому усовершенствование существующих методов и разработка новых методов расчета оптимальных параметров микроклимата в производственных помещениях с целью создания комфортных условий для работников является актуальной задачей.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационных исследований является разработка научно – методических основ создания высокоэффективных систем обеспечения микроклимата в людских помещениях гражданского и промышленного назначения.

Для достижения указанной цели были сформулированы и решены следующие задачи исследований:

1. Исследование возможности применения основных положений теории температурного комфорта Фангера к группе лиц с различными показателями трудовой активности и формирования единого показателя температурного комфорта для всей группы.

2. Исследование возможности формирования индекса качества окружающей среды помещений, учитывающий

температурный комфорт, качество воздуха, а также временной тренд увеличения концентрации CO_2 в атмосфере.

3. Разработка параметрического двухкритериального метода управления температурным и влажностным режимом в замкнутых помещениях.

4. Разработка метода трехволнового недисперсивного измерения концентрации формальдегида с компенсацией влияния NO_2 на результат измерения.

5. Исследование возможности достижения высокой информативности результатов измерения концентрации CO_2 в производственных разноформатных помещениях.

6. Исследование погрешности измерения концентрации CO_2 в вентилируемых помещениях.

7. Оптимизация режимов вентиляции помещений с учетом минимизации энергозатрат и уменьшения концентрации CO_2 и TVOC (летучих органических соединений).

8. Разработка способов энергоэффективного адаптивного управления основными показателями микроклимата в помещениях.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы были использованы элементы теории дифференциального и интегрального исчисления, методы многокритериальной оптимизации, методы вариационного исчисления, методы нечеткой логики, методы нейронных сетей, элементы теории информации, методы спектрального анализа и теплотехники.

Основные положения выносимые к защите.

1. Положение о правомерности применения теории теплового комфорта Фангера к группе лиц с различными показателями трудовой активности; сформированный среднеинтегральный показатель теплоощущения для указанной группы, учитывающий индивидуальные показатели PMV (ожидаемая средняя оценка теплоощущения конкретного лица) и обнаруженный факт о том, что этот показатель имеет нежелательный для оценки теплоощущения экстремум

(минимум) только при наличии логарифмической зависимости метаболической генерации тепла (M) от показателя трудовой активности (W), что противоречит известному факту линейности функциональной зависимости M от W , учтенной в теории Фангера, что позволило сделать вывод о пригодности вводимого среднеинтегрального показателя для совместной оценки теплоощущения указанной группы лиц.

2. Предложенный мультипликативный критерий – индекс качества окружающей среды помещений, сочетающий такие показатели как температурный комфорт, качество воздуха, а также временной тренд изменения концентрации CO_2 в атмосфере, обладающий свойством PMV обнуления при полном тепловом комфорте и позволяющий определить степень теплового «дискомфорта» обитателей в долговременной динамике.

3. Предложенный параметрический двухкритериальный метод и соответствующий операционный алгоритм для управления температурным и влажностным режимом в защищенных замкнутых помещениях.

4. Предложенный метод трехволнового недисперсивного измерения концентрации формальдегида (CH_2O) в помещениях с компенсацией влияния NO_2 ; полученная формула для вычисления концентрации формальдегида, разработанная функциональная схема устройства измерения концентрации формальдегида.

5. Результаты исследования погрешностей измерения концентрации CO_2 в вентилируемом помещении согласно которым: а) погрешность дискретизации измерения концентрации CO_2 в вентилируемых помещениях имеет некоторый максимум, появляющийся при некотором соотношении между временной дискретной и скоростью изменение воздуха; б) динамическая погрешность контроля концентрации CO_2 в вентилируемых помещениях имеет некоторый максимум появляющийся при некотором

соотношении между временем контроля, объёмом помещения и скорости вентиляции.

6. Сформулированная и решенная модельная оптимизационная задача определения условий достижения высокой информативности результатов измерений концентрации CO_2 в производственных разноформатных помещениях.

7. Сформулированная и решенная задача вычисления оптимальных режимов вентиляции помещений с учетом зависимости концентраций рассматриваемых типов загрязнителей воздуха от электроэнергетических расходов на вентиляцию, решение которой позволило определить два режима вентилирования: а) режим максимальных энергозатрат, где CO_2 и TVOC (летучие органические соединения) вентилируются полностью, б) режим минимальных энергозатрат, где в диапазоне $1000-1500 \text{ мкг/м}^3$ TVOC вентилируется неполностью, а в диапазоне $1500-2000 \text{ мкг/м}^3$ CO_2 вентилируется неполностью.

8. Предложенные способы энергоэффективного адаптивного управления основными показателями микроклимата. Разработанные операционные алгоритмы реализации предлагаемых методов управления микроклиматом в летнее и зимнее времена.

Научная новизна исследований.

1. Впервые показана правомерность применения теории теплового комфорта Фангера к группе лиц с различными показателями трудовой активности путем формирования среднеинтегрального показателя тепло ощущения, учитывающий индивидуальные показатели PVM (ожидаемая средняя оценка теплоощущения конкретного лица) указанных лиц. Определено, что предложенный показатель имеет экстремум (минимум) при наличии логарифмической зависимости метаболической генерации тепла от показателя трудовой активности, что противоречит известному факту линейности указанной функциональной зависимости, учтенной

в теории Фангера. Это позволило сделать вывод о пригодности предложенного среднеинтегрального показателя в рамках теории Фангера для совместной оценки теплоощущения указанной группы лиц.

2. Разработан мультипликативный критерий - индекс качества окружающей среды помещений, учитывающий такие факторы как температурный комфорт, качество воздуха, а также временной тренд изменения концентрации CO_2 в атмосфере. Предложенный критерий имеет свойство обнуления при полном тепловом комфорте, что позволяет подобно показателю *PMV* определить степень теплового «дискомфорта» обитателей в долговременной динамике.

3. Предложен параметрический двухкритериальный метод для управления температурным и влажностным режимом в замкнутых помещениях.

4. Предложен метод трехволнового недисперсивного измерения концентрации формальдегида (CH_2O) в помещениях с компенсацией влияния NO_2 , а также получена формула для вычисления концентрации формальдегида.

5. Сформулирована и решена модельная оптимизационная задача определения условий достижения высокой информативности результатов измерений концентрации CO_2 в производственных разноформатных помещениях. Показано, что а) погрешность дискретизации измерения концентрации CO_2 в вентилируемых помещениях имеет некоторый максимум, появляющийся при некотором соотношении между временной дискретой и скоростью изменения воздуха; б) динамическая погрешность контроля концентрации CO_2 в вентилируемых помещениях имеет некоторый максимум при некотором соотношении между временем контроля, объёмом помещения и скоростью вентиляции.

6. Сформулирована и решена оптимизационная задача для вычисления оптимальных режимов вентиляции помещений, что позволило определить два режима вентилирования: а) режим максимальных энергозатрат, где CO_2 и TVOC (летучие

органические соединения) вентилируются полностью, б) режим минимальных энергозатрам, где в диапазоне концентрации 1000-1500 $\text{мкг}/\text{м}^3$ TVOC вентилируется неполностью, а в диапазоне 1500-2000 $\text{мкг}/\text{м}^3$ CO_2 вентилируется неполностью.

7. На базе основных положений стандарта «ANSI/ASHRAE Standard 55-2010» предложены способы энергоэффективного адаптивного управления основными показателями микроклимата людских помещений. Разработаны операционные алгоритмы реализации предлагаемых способов управления микроклиматом в летнее и зимнее времена.

Теоретическое и практическое значение исследований.

1. Впервые предложено и теоретически обосновано применение теории теплового комфорта Фангера для группы лиц в рабочем помещении, обладающих различными показателями трудовой активности.

2. Предложен новый показатель-индекс качества окружающей среды помещений, учитывающий не только температуру и качество воздуха, но и временной тренд изменения концентрации углекислого газа в атмосфере. Предложенный показатель позволяет определить степень теплового дискомфорта обитателей помещения.

3. Разработаны двухкритериальный метод управления метеофакторами в замкнутых помещениях, а также трехволновый метод измерения концентрации формальдегида.

4. Выявлены экстремальные свойства погрешности дискретизации при измерении концентрации углекислого газа в вентилируемых и динамической погрешности контроля концентрации этого же газа в вентилируемых помещениях.

5. Разработаны способы энергоэффективного адаптивного управления основными показателями микроклимата людских помещений.

6. Показано, что при проведении оптико - акустических измерений CO_2 в воздухе с использованием множества лазерных источников разной длины волны и разной мощности, где с ростом мощности длина волны излучения уменьшается в

интервале $10,253 \text{ мкм} \div 9,569 \text{ мкм}$, при росте мощности в интервале ($3 \div 9 \text{ Вт}$) информативность результатов измерений достигнет максимума при соблюдении противоположной закономерности изменения величины сигнала U и количества измерений N , при росте мощности лазера P . С учетом экспериментальных результатов, заключено, что при больших концентрациях углекислого газа в помещениях с увеличением P , показатель N должен расти, а при малых уменьшаться.

7. Показано, что при расчете энергопотребления систем обеспечения микроклимата в помещениях следует учесть, что эффект адаптации нейтральной величины PMV к текущей температуре в помещении приводит к уменьшению энергопотребления этих систем. Предложен взвешенный адаптивно - сверхточный критерий для выбора Парето - оптимального режима работы системы обеспечения микроклимата, позволяющий достичь допустимого компромисса между увеличением PMV и энергопотреблением систем микроклимата.

8. Разработаны функциональные схемы $ПИД$ регуляторов микроклимата в помещении с использованием предложенного среднеинтегрального показателя комфортности.

9. Разработаны функциональные схемы $ПИД$ регуляторов микроклимата в помещении с отдельными отсеками с использованием предложенного среднеинтегрального показателя комфортности по отсекам.

10. Предложенные и разработанные методы и соответствующие алгоритмы их реализации позволяют на практике повысить эффективность функционирования систем обеспечения микроклимата в помещениях.

Апробация и внедрение работы. Основные положения и результаты исследований диссертации доложены и обсуждались на следующих международных конференциях:

- Beynəlxalq Elmi - Texniki konfrans. “İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri”, AzTU, 27-28 oktyabr, Bakı, 2014;

- Beynəlxalq Elmi - Texniki konfrans, “İnşaatda İnformasiya texnologiyaları və sistemlərinin tətbiqi imkanları və prespektivləri” İnşaat və Memarlıq Universiteti, 05-06 iyul, Bakı, 2018;

- X Международная научно-практическая конференция, «Актуальные проблемы экологии и охраны труда». Россия, Курск, 2019.

По теме диссертационной работы была опубликована в разных типографиях 17 научные статьи и материалы для конференции.

Название организации, где выполнена диссертационная работа. Диссертационная работа выполнена в Техническом Университете (кафедра “Компьютерная технология и гибербезопасность”) и частично в Научно-Исследовательском Институте Аэрокосмической Информатики Национального Аэрокосмического Агентства.

Общий объем диссертации, с учетом объемов отдельных структурных разделов. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и списка из 138 использованных литературы. Диссертация включая таблицы, рисунки и список литературы, прокомментирована на 150 страницы. Введение состоит из 14913 знаков, I глава из 52404 знаков, II глава 25272 знаков, III глава 28760 знаков, IV глава 34739 знаков. Общий объем диссертаций составляет 203720 знаков.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава диссертационной работы посвящена разработке и усовершенствованию научно-методологических основ создания систем микроклимата для производственных и жилых помещений. Изложены результаты проведенных исследований по предложенному способу групповой оценки

теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями.

Усредненное значение температурных ощущений большого количества людей с использованием шкалы стандарта ASHRAE определяется в качестве среднепрогнозируемой оценкой теплового комфорта (PMV).

О.П. Фангер предложил следующую формулу взаимосвязи между PMV (средняя прогнозируемая оценка теплового комфорта) и тепловой нагрузкой на человека

$$PMV = 3,155 \cdot (0,303e^{-0,114M} + 0,028) \cdot L, \quad (1)$$

где M - уровень метаболической генерации тепла в зависимости от двигательной активности человека, met $1\ met = 58,1\text{Вт/м}^2$.

L - разница между производимым внутренним теплом человека и потерями в окружающую среду.

При этом метаболические тепловые потери человека могут быть учтены следующим образом:

$$q_{met.heat} = M - w, \quad (2)$$

где $q_{met.heat}$ - показатель, характеризующий метаболические тепловые потери;

w - работа человека в расчете на единицу площади поверхности (тела человека), в (Btu/hft^2).

Сформулирована и исследована следующая задача исследования: при каком виде функциональной связи между M и w , среднеинтегрированная по w величина PMV имела бы нежелательное экстремальное свойство. Представим, что имеется множество H людей, характеризующаяся следующими характеристиками:

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_n\} \quad (3)$$

1. Все элементы множества H имеют одинаковую функцию $M = \varphi_1(w)$;

2. Элементы множества H имеют показатель w , значение которых составляет упорядоченное множество

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}; w_i = w_{i-1} + \Delta w; i = \overline{1, n}; \Delta w = \text{const.} \quad (4)$$

3. Метаболический потенциал элементов множества H ограничен, т.е.

$$P = \int_{w_{\min}}^{w_{\max}} \varphi_1(w) dw = c_4 = \text{const.} \quad (5)$$

Выражение (5) означает, что суммарный потенциал элементов множества H в метаболической генерации тепла не зависит от w и постоянен.

На базе выражения (1) и некоторых промежуточных преобразований сформулирована среднеинтегральная оценка

$$PMV_{\text{cp}} = \frac{1}{w_{\max} - w_{\min}} \times \int_{w_{\min}}^{w_{\max}} \left(d_1 \cdot e^{-\frac{d_2 \varphi_1}{(w)}} + d_3 \right) \cdot [c_3 \cdot \varphi_1(w) + cw - c_1] dw, \quad (6)$$

где: $d_1 = 3,155 \cdot 0,303$; $d_2 = 0,114$; $d_3 = 0,028$.

На базе выражений (5) и (6) составлена задача безусловной вариационной оптимизации. Решение этой задачи с учетом уравнения Эйлера – Лагранжа, дало следующую функцию $\varphi_1(w)$, при которой целевой функционал достиг бы минимального значения:

$$M = c_5 \cdot \ln(L - c_5) + c_6; c_5 = c_6 = \text{const.} \quad (7)$$

Таким образом, минимум целевого функционала достигается при наличии логарифмической зависимости между M и L в то время как согласно исходным теоретическим предположениям в теории температурного комфорта между M и L имеется линейная зависимость. Таким образом, это является качественным отличием предложенной среднеинтегральной оценки для проведения микроклиматических исследований

применительно к группе лиц с разными трудовыми показателями от оценки данной для одного человека.

Далее в первой главе рассмотрен вопрос о разработке нового динамического индекса качества окружающей среды для производственных помещений. Исследована возможность формирования нового динамического индекса окружающей среды людских помещений, сочетающей как частную оценку динамики роста концентрации CO_2 в воздухе, так и индекс термального комфорта, учитывающего рост средней температуры на планете из-за повышения концентрации CO_2 в атмосфере.

Предложен совместный мультипликативный показатель температурного комфорта и качества воздуха в помещениях.

$$S = (PMV^{\lambda_1})((C_{out} - C_{st})^2)^{\lambda_2}, \quad (8)$$

где S - вводимый показатель; PMV - индекс температурного комфорта, введенный Фангером; $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$; λ_1, λ_2 - весовые коэффициенты; C_{out} - концентрация CO_2 во внешней среде; C_{st} - стандартная величина концентрация CO_2 во внешней среде.

Таким образом, дано обобщение индекса PMV введенного Фангером в плане расширения его функционального охвата применительно к объективно существующему тренду увеличения процентного содержания CO_2 в атмосфере. Далее в первой главе рассмотрена возможность разработки параметрического двухкритериального метода управления температурного и влажностного режима в замкнутых помещениях.

Одним из основных показателей обеспечения микроклимата в замкнутых помещениях является известный индекс дискомфорта, вычисляемый по данным метеопрогнозов температуры и влажности на текущий день по уравнению

$$DI = \alpha_1 \cdot T_0 + W_0(\alpha_2 T - \alpha_3) + \alpha_4, \quad (9)$$

где: $\alpha_1 = 0,81$; $\alpha_2 = 0,99$; $\alpha_3 = 14,3$; $\alpha_4 = 46,3$; T_0 - температура внешней среды; W_0 - влажность внешней среды; T - температура в помещении.

Введен на рассмотрение специальный коэффициент d , являющийся показателем микроклиматического преобразования влажности воздуха внешней среды или поступающего в замкнутое помещение воздуха в влажность воздуха в помещении, определяемый как

$$d = \frac{RH_k/100}{W_{oc}}, \quad (10)$$

где RH_k -относительная влажность, W_{oc} - абсолютная влажность воздуха поступающего извне.

В результате проведенного анализа получено следующее трансцендентное уравнение

$$\frac{d \cdot b_2 \cdot (DI - \alpha_1 T_0 - \alpha_4)}{P_T(\alpha_2 T - \alpha_3)} = \frac{1}{\exp\left[\frac{b_2 T}{b_2 + T}\right]} \quad (11)$$

позволяющее выработать метод и соответствующий алгоритм определения комфортной температуры в замкнутых помещениях при заданных значениях критериев DI и T . Составлена технологическая схема обеспечения микроклимата в замкнутых помещениях.

Вторая глава диссертационной работы посвящена вопросам измерения малых газовых составляющих в помещениях. В начале главы изложен разработанный метод недисперсивного измерения концентрации формальдегида в ультрафиолетовом диапазоне в замкнутых помещениях.

В методе недисперсивной спектроскопии свет излучателя проходит через газовую ячейку и оптический фильтр полоса пропускания которого согласован с зоной максимального поглощения газа. Также используется опорный канал, где полоса поглощения фильтра соответствует спектральной зоне, где поглощение формальдегида отсутствует.

Показано, что с помощью этого метода в первом приближении, концентрацию молекул формальдегида можно определить по формуле

$$N_1 = \frac{c}{l[\alpha_f(340) - \alpha_f(334)]}. \quad (12)$$

где c - является постоянной величиной; l - длина пути света; α_f - коэффициент поглощения формальдегида.

Далее во второй главе изложен разработанный высокоточный метод измерения концентрации CO_2 в вентилируемых помещениях.

Проведено исследование погрешности дискретизации при измерении CO_2 в помещении в период работы системы вентиляции. Погрешность дискретизации определяется в качестве погрешности, появляющейся из-за изменения измеряемой величины в течение временной дискреты ΔT . Показано, что погрешность дискретизации при измерении концентрации CO_2 в вентилируемом помещении при условии

$$\Delta T = \frac{2}{\alpha} \quad (13)$$

достигает максимальной величины, что позволяет выработать рекомендации по выбору показателей дискретизации измерения. Рассмотрен вопрос об оптимальном размещении датчиков CO_2 в помещении, в котором имеются комнаты с различной площадью.

Применительно к непрерывной модели указанных показателей получено условие для оптимального распределения людей по разноформатным помещениям при некотором ограничительном условии, а также при условии соответствия количества датчиков CO_2 в помещении площади этого помещения.

Далее во второй главе рассмотрен вопрос об оптимизации процесса вентиляции и определения точностных параметров соответствующих измерений концентрации CO_2 с учетом

известной динамической модели изменения углекислого газа в вентилируемом помещении. Согласно разработанной оптимальной модели если в момент $t = t_0$ в помещении концентрация CO_2 равна $CO_2(0)$, и далее после заполнения помещения людьми концентрация CO_2 начинает расти со скоростью Q/v , где Q – скорость вентиляции здания; v – объем здания, то величина Q , при которой $C(t)$ достигает экстремума вычисляется из следующего трансцендентного уравнения:

$$e^{-Qt/v} \left(\frac{1}{Q} + \frac{t}{v} \right) = \frac{1}{Q}. \quad (14)$$

Проведено исследование динамических погрешностей контроля концентрации CO_2 в помещении в период работы системы вентиляции. Динамическую погрешность определена в качестве погрешности, появляющейся из-за изменения концентрации в течении времени контроля. Показано, что при выполнении условия $T_{изм} = 2V/Q$ динамическая погрешность контроля концентрации CO_2 в вентилируемом помещении достигает максимальной величины.

Далее во второй главе рассмотрены вопросы оптимизации двух порогового индикатора концентрации CO_2 в воздухе жилых и производственных помещений методом оптико - акустической спектрометрии. Блок - схема оптико - акустического измерителя показана на рис.1.

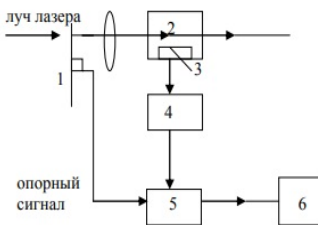


Рис. 1. Блок - схема оптико - акустического измерителя:

- 1 - механический прерыватель;
- 2 - кювета с образцом;
- 3 - микрофон;
- 4 - предусилитель;
- 5 - синхронный усилитель;
- 6 - регистратор

В измерителе используется перестраиваемый лазер, длина волны которого совпадает с длиной волны поглощения

исследуемого газа. Лазерный луч модулируется с частотой, специальный выбор значения которой обеспечивает оптимальную величину отношения сигнал/шум.

Показано, что при проведении оптико - акустических измерений CO_2 в воздухе с использованием множества лазерных источников разной длины волны и разной мощности, где с ростом мощности в интервале (3÷9) Вт длина волны излучения уменьшается в интервале 10,253 мкм ÷ 9,569 мкм информативность результатов измерений достигнет максимума при соблюдении противоположной закономерности изменения величины сигнала U и количества измерений N .

Третья глава диссертационной работы посвящена вопросам повышения эффективности систем обеспечения микроклимата в помещениях. В начале главы рассмотрен и решен вопрос об оптимизации вентилирования офисных помещений. Для вычисления электроэнергетического эквивалента функции издержек используется формула

$$\zeta = \gamma \cdot (\max(C_{mtr}, C_{thr}) - C_{thr})^{1,3}, \quad (15)$$

где ζ - электроэнергетический эквивалент рассматриваемого загрязнителя; γ - масштабирующий коэффициент; C_{mtr} - трансформированное значение рассматриваемого типа загрязнителя; C_{thr} - фоновая величина загрязнителя, не вызывающая наложение каких либо штрафов.

Получено условие, при котором интегральный электроэнергетический эквивалент рассматриваемых типов загрязнения воздуха, в смысле электроэнергетических затрат на вентилирование помещения достигнет экстремальной величины.

Далее в третьей главе рассмотрен вопрос об оптимизации функционирования систем микроклимата с учетом их энергоэффективности и комфортной температуры в помещениях. Основу адаптивной модели комфортной температуры составляет экспериментально определенный факт о том, что между комфортной (нейтральной) температурой и

средней температурой в помещении имеется сильная корреляционная связь.

При этом существует следующая зависимость

$$T_n = 11,9 + 0,534 T_0, \quad (16)$$

где T_n - нейтральная температура; T_0 - температура в помещении.

Инверсная взаимосвязь между изменчивой (адаптивной) величиной PMV и энергопотреблением систем кондиционирования актуализирует задачу оптимального выбора той режимной точки этих взаимосвязанных показателей, где достигается разумный компромисс.

Как показывают многочисленные экспериментальные исследования линейный рост PMV_{max} , а следовательно и T_n приводит к экспоненциальному уменьшению потребляемой энергии E . Следовательно, параметры PMV_n и E могут быть представлены в виде Парето - зависимых критериев M_1 и M_2 где

$$M_1 = PMV_n(PMV_{max}); \quad (17)$$

$$M_2 = E(PMV_{max}); \quad (18)$$

С учетом (17) и (18) составлен целевой функционал оптимизации

$$M_0 = \alpha_1 \cdot PMV_n(PMV_{max}) + \alpha_2 \cdot E(PMV_{max}); \alpha_1 + \alpha_2 = 1. \quad (19)$$

Показано, что при линейной интерполяции функции (17) и при экспоненциальной аппроксимации функции (18) исследование M_0 на минимум от PMV_{max} дает

$$PMV_{max} = \frac{1}{k_2} \ln \left(\frac{\alpha_2 A_2 k_2}{\alpha_1 k_1} \right). \quad (20)$$

Вышеизложенные свойства функционала M_0 позволяют предложить его в качестве критерия оптимизации систем микроклимата, функционирующего на базе теории Фангера.

Далее в третьей главе рассмотрен вопрос об оптимизации энергоэффективности систем микроклимата помещений по мультипликативному критерию.

Предлагаемый мультипликативный критерий Π имеет вид:

$$\Pi = M_1^{\beta_1} \cdot M_2^{\beta_2}, \quad \beta_1 + \beta_2. \quad (21)$$

С учетом вышеуказанных аппроксимаций получим

$$\Pi = (k_1 \cdot PMV_{\max} + A_1)^{\beta_1} \cdot (A_2 e^{-k_2 PMV_{\max}} + A_3)^{\beta_2}. \quad (22)$$

Для упрощения анализа примем:

$$\beta_1 = \beta_2; \quad A_1 = A_3 = 0.$$

Показано, что, при выполнении условия $PMV_{\max} = \frac{1}{k_2}$ критерий Π достигает экстремума. Определено, что при $PMV_{\max} > \frac{2}{k_2}$ достигает минимума, а в противном случае максимума.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена вопросам построения системы обеспечения микроклимата на основе модифицированного показателя Фангера теплового комфорта. Рассмотрены вопросы построения системы регулирования микроклимата в замкнутом помещении с использованием способа *ПИД* регулирования.

В предлагаемом варианте *ПИД* регулятор обеспечивает высокую точность поддержания температуры. При этом мощность N , выделяемая нагревателем в процентах от максимальной мощности определяется как

$$N = \frac{100}{k_p} \left(\Delta T + \frac{1}{k_i} \int_0^1 \Delta T dt - k_d \frac{dT}{dt} \right). \quad (23)$$

Где k_p, k_i, k_d - *ПИД* коэффициенты.

Очевидно, что проблема подбора трех коэффициентов требует разработки правил проектирования контроллера для каждого здания.

На рис.2. показана функциональная схема устройства регулирования температуры на базе ПИД регулятора с использованием среднеинтегрированного показателя для вычисления расчетной температуры комфорта.

Как видно из функциональной схемы устройства, в узле 1 осуществляются формирование индивидуальных показателей PMV_i для каждого конкретного лица, пребывающего в помещении и далее вычисляется среднее значение этих показателей. На основе вычисленной величины PMV_{cp} определяется расчетная задаваемая температура в помещении.

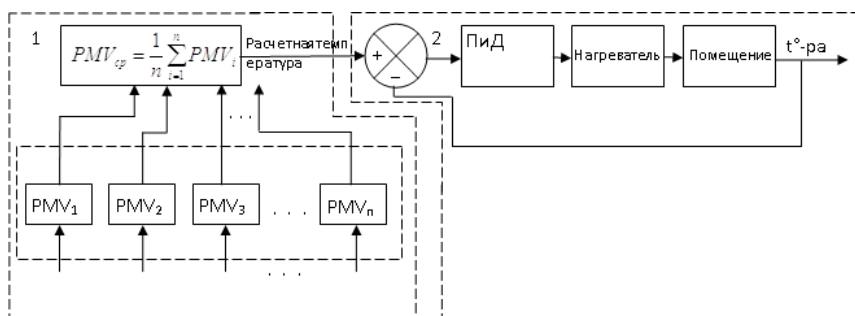


Рис. 2. Функциональная схема устройства регулирования температуры на базе ПИД регулятора с применением предлагаемого среднеинтегрированного показателя PMV : 1-узел формирования среднеинтегрированного показателя комфортной температуры; 2-узел ПИД регулятора температуры.

Во втором варианте узел PMV включается в цепь обратной связи узла регулирования. Функциональная схема устройства показана на рис. 3.

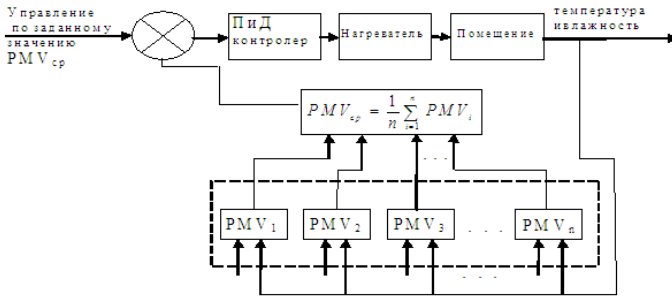


Рис. 3. Функциональная схема устройства регулирования микроклимата на базе ПИД регулятора с использованием среднеинтегральной величины PMV

Как видно из функциональной схемы устройства, контур управления в данном случае замыкается через узлы $PMV_1 \div PMV_n$, формирующих индивидуальные значения показателя PMV для каждого лица, пребывающего в помещении. В устройстве вычисляется разность между текущим и идеальным значением PMV , где текущее значение формируется в виде $PMV_{ср}$, с учетом особенностей всех людей, пребывающих в помещении.

Далее в четвертой главе рассмотрена возможность использования среднеинтегрированной модели Фангера для контроля температурного комфорта в помещениях с учетом эффекта адаптации обитателей отсеков помещений. Задача обеспечения микроклимата в помещении заключается не только в обеспечении абсолютного температурного комфорта, но и в достижении разумного потребления энергии для достижения комфорта.

Рассмотрен вопрос о теоретическом обосновании метода среднеинтегрированного индекса PMV по отдельным группам находящихся на разных отсеках помещения.

Рассмотрен вопрос о построении системы регулирования микроклимата в замкнутом помещении с отдельными отсеками с использованием способа ПИД регулирования. Задается

желаемая температура в помещении и *ПИД* регулятор используется для поддержания этой температуры в помещении. *ПИД* регулятор обеспечивает высокую точность поддержания температуры.

При этом мощность N , выделяемая нагревателем в процентах от максимальной мощности определяется по формуле (23)

На рис.4. показана функциональная схема устройства регулирования температуры на базе *ПИД* регулятора с использованием среднеинтегрированного показателя для вычисления расчетной температуры комфорта с учетом эффекта адаптации.

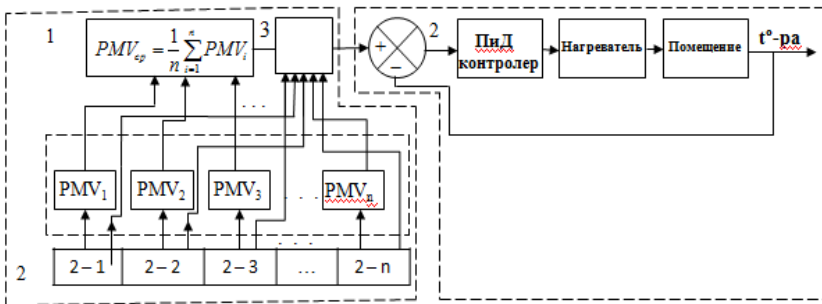


Рис. 4. Функциональная схема устройства регулирования температуры на базе *ПИД* регулятора с применением предлагаемого среднеинтегрированного показателя *PMV* с учетом эффекта адаптации:

1-узел формирования среднеинтегрированного показателя *PMV*; 2-отсеки помещения (2-1, 2-2, 2-3, ... 2-n); 3-узел расчёта задаваемой температуры

В четвертой главе также рассмотрены вопросы создания адаптивных энергоэффективных систем управления микроклиматом в людских помещениях.

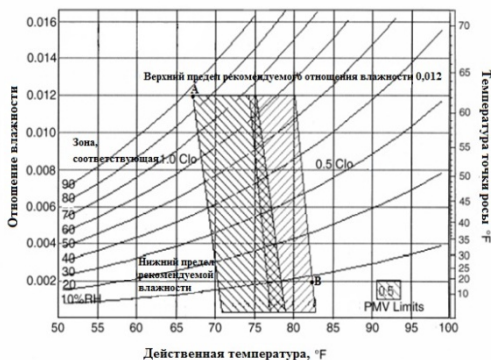


Рис. 5.
Психрометрическая
диаграмма по стандарту
«ASHRAE standart
55 - 2004»

Стандарт ASHRAE Standart 55-2004 определяет комфортную зону в пространстве, где человек имеет различную степень активности, что выражается в возможном изменении метаболического показателя от 1,0 met до 1,3 met, а также, показатель тепловой изоляции одежды изменяется в пределах 0,5 Clo ÷ 1,0 Clo. Комфортная зона определяется по критерию *PMV*, где значение этого показателя находится в пределах $\pm 0,5$.

Целью проводимых исследований является формирование общего принципа адаптивного управления в системе обеспечения микроклимата в людских помещениях на базе психрометрической диаграммы, приведенной в выше отмеченных стандартах. Суть предлагаемого принципа адаптации заключается в реализации технических мер по адаптивному управлению основными микроклиматическими показателями людских помещений по критерию практически полной реализации режимов микроклимата, соответствующих комфортной зоне, указанной в диаграмме.

Предложены следующие способы адаптивного управления микроклиматом в помещениях:

1. Обеспечивается некоторый диапазон действенной температуры в помещении путем нагрева или охлаждения. Далее, осуществляется адаптивное управление влажностью воздуха таким образом, чтобы точка (T_g ; RH) находился в пределах заштрихованной зоны комфорта, показанной на рис. 5.

2. Обеспечивается некоторый диапазон относительной влажности путем изменения режима вентиляции в помещении, заполненной людьми. Следует осуществить такое адаптивное управление действенной температурой, чтобы точка (T_g ; RH) находился в пределах заштрихованной зоны комфорта.

С точки зрения минимизации энергопотребления, затрачиваемой на сезонное регулирование температуры воздуха (нагрев зимой и охлаждение летом) можно указать на следующие характерные возможности экономии в потреблении электроэнергии. Например, в холодную погоду зимой наиболее оптимально, с точки зрения потребления электроэнергии, выбрать рабочую точку A , где оставаясь в зоне комфорта необходимо минимально отапливать помещение. В свою очередь, в жаркую погоду летом, следует выбрать рабочую точку B , где потребуются почти нулевое охлаждение.

Составлены блок-схемы алгоритмов предлагаемых адаптивных способов экономичного с точки зрения потребляемой электроэнергии управления микроклиматом в зимнее и летнее время.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Изложенное теоретическое обоснование применимости теории теплового комфорта Фангера к группе лиц с различными показателями трудовой активности и сформированный среднеинтегральный показатель тепло ощущения для такой группы, учитывающий индивидуальные показатели ожидаемой средней оценки теплоощущения отдельных лиц открывает большие возможности для правильной организации условий труда различных коллективов, трудящихся в рабочих помещениях.

2. Предложенный динамический критерий качества окружающей среды помещений, учитывающий долговременный тренд увеличения концентрации в атмосфере позволяет более точно определить степень теплового дискомфорта и сравнить значения аналогичного показателя, вычисленные с интервалом нескольких лет или десятилетий.

3. Разработанный параметрических двухкритериальный метод обеспечения микроклимата в помещениях позволяет высоко эффективное управление температурным и влажностным режимом в замкнутых помещениях.

4. Разработанный метод трехволнового недисперсивного измерения концентрации формальдегида в помещениях с компенсацией влияния NO_2 позволяет повысить качества микроклимата в гражданских и производственных помещениях и уберечь людской персонал от неучтенного пагубного воздействия формальдегида на здоровье человека.

5. Результаты решения сформированной оптимизационной задачи проведения высокоинформативных измерений концентрации CO_2 в производственных помещениях, а также результаты исследований погрешности таких измерений в вентилируемых помещениях позволяют осуществить более эффективное управление микроклиматом помещений и

квалифицированно подобрать средства измерений, а также режимы вентилирования помещений.

6. Сформулированная и решенная задача нахождения оптимальных режимов вентиляции позволяет осуществить альтернативный выбор режимов вентиляции, где в первом случае максимальные энергозатраты обеспечивают полную вентиляцию помещений, а во втором случае в режиме минимальных энергозатрат обеспечивается частичная вентиляция CO_2 и $TVOC$ в заданных диапазонах концентраций.

7. Показана возможность разработки адаптивных энергоэффективных систем управления микроклиматом на базе основных положений стандартов ANSI / ASHRAE Standard 55-2010.

Основное содержание диссертации отражено в следующих опубликованных научных работах:

1. Алиев С.Г., Гусейнова М.В. Нечеткий ситуационный логический вывод в сложных технических объектах // *Beynəlxalq Elmi - Texniki konfrans. "İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri"*, AzTU, 27-28 oktyabr. Bakı. -2014, - s.433-439.

2. Гусейнова М.В. Вопросы разработки системы обеспечения микроклимата в помещении по средне интегрированной модификации показателя теплового комфорта Фангера // *Климат и природа, Москва. -2018. №3 (28). - с.51-58.*

3. Гусейнова М.В. Вопросы обеспечения безопасного температурного и влажностного режима в замкнутых и защищенных помещениях // *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, Москва. - 2018. №4. - с.102-107.*

4. Гусейнова М.В. Двухкритериальный параметрический метод определения оптимальной температуры в замкнутых помещениях // *"İnşaat İnformasiya texnologiyaları və Sistemlərin Tətbiqi İmkanları və Perspektivləri"* mövzusunda *Beynəlxalq Elmi-*

Praktiki konfransin materialları, Bakı. - 05-06 iyul, 2018. - s.116-119.

5. Гусейнова М.В., Джавадов, Н.Г., Исмаилов, К.Х. Двухкритериальный параметрический метод контроля оптимальной температуры в производственных помещениях // Нефтегазовое дело, Сетевое издание, Москва. - 2018. №5. - с.214-228.

6. Гусейнова М.В. Вопросы разработки измерительной системы для определения концентрации CO₂ в вентилируемых помещениях // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль (ИМУК), Москва. - 2019. №1 (27). - с.12-18.

7. Гусейнова М.В. Вопросы разработки нового динамического индекса качества окружающей среды для жилых и производственных помещений // Безопасность труда в промышленности. Москва. - 2019. №1. - с.37-41.

8. Гусейнова М.В. Построение подсистемы измерителей концентрации CO₂ в вентилируемых помещениях // Датчики и системы, Москва. - 2019. №1 (232). - с.46-49.

9. Гусейнова М.В. Разработка метода недисперсивного измерения концентрации формальдегида в ультра фиолетовом диапазоне в замкнутых помещениях // Мир Измерений, Москва. - 2019. №1. - с.34-37.

10. Гусейнова М.В. Исследование возможности использования групповой оценки теплового комфорта по теории Фангера применительно ко множеству лиц с разными трудовыми показателями // Экология человека, г. Архангельск. - 2019. №4. - с.60-64.

11. Гусейнова М.В. Асадов Х.Г., Ибрагимова А.Э. Вопросы оптимизации функционирования систем микроклимата с учетом их энергоэффективности и комфортной температуры в помещениях // Промышленная Энергетика, Москва. - 2019. №4. - с.49-53.

12. Гусейнова М.В. Асадов, Х.Г., Махмудова, В.Х., Шамохина, С.А. Вопросы создания адаптивных энергоэффективных систем управления микроклиматом в

людских помещениях // Сборник статей 11-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда». Курск. - 2019. - с.290-297.

13. Гусейнова М.В., Махмудова В.Х., Шамохина, С.А. О возможности использования среднеинтегрированной модели Фангера для контроля температурного комфорта в помещениях // Сборник статей 11-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда». Курск. - 2019. - с.317-325.

14. Гусейнова М.В., Гостев, А.А Оптимизация измерения концентрации CO_2 в воздухе жилых и производственных помещений методом оптико-акустической спектрометрии // Сборник статей 11-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда». Курск. - 2019. - с.312-316.

15. Гусейнова М.В., Гостев, А.А Вопросы оптимизации вентилирования производственных помещений // Автоматизация. Современные технологии, Москва. - 2019. №9, том 73, - с.411-413.

16. Гусейнова М.В. Оптимизация измерения концентрации CO_2 в воздухе жилых и производственных помещений методом оптико-акустической спектрометрии // Автоматизация. Современные технологии, Москва. - 2019. №10, - с.435-437.

17. Гусейнова М.В., Юсубова А.Х., Ларина Е.А., Барков А.Н. Вопросы оптимизации вентилирования офисных помещений // Сборник статей 13-й Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда». Курск. - 2021. - с.331-336.

Защита диссертации состоится « 24 » июнь 2022 года в 14⁰⁰ на заседании Диссертационного совета ЕД 2.41 действующего на базе Азербайджанского Технического Университета.

Адрес: город Баку, Азербайджанская Республика. AZ 1073, проспект Г.Джавид 25, АзТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Технического Университета

Электронная версия диссертации и автореферата размещена на официальном сайте Азербайджанского Технического Университета

Автореферат разослан по соответствующим адресам « 24 » мая 2022 года

Подписано в печать: 18.05.2022
Формат бумаги: (210x297) ¼
Объем: 36664 знаков
Тираж: 70