

УДК 621.391.881

В.В. Кирюха

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

**АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ
ВОЗДУХА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОЩАДИ
НА РЫБООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Рассмотрены теоретические и практические вопросы контроля температуры и управления по температурным параметрам системами кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: температура, кондиционирование.

V.V. Kiryuha

**ANALYSIS OF THE TECHNICAL ISSUES OF CONTROL
OF TEMPERATURE PARAMETERS IN THE DESIGN OF AIR
CONDITIONING SYSTEMS IN THE FISH-PROCESSING ENTERPRISES**

This article studies theoretical and practical issues of the temperature control and temperature parameter control of the air conditioning systems.

Key words: temperature, conditioning systems.

Одним из важнейших моментов охраны труда является поддержание оптимальных параметров воздушной среды производственных помещений. К таким параметрам относятся температура, влажность и запыленность воздуха. Поддержание температуры, наиболее благоприятной по медицинским показаниям и условиям комфортности, параметр в настоящее время осуществляется с помощью устройств кондиционирования воздуха.

Системы кондиционирования воздуха в производственных помещениях могут быть выполнены по различным схемам. Чаще всего используются одинарные или многоблочные сплит-системы, центральное кондиционирование, системы водного охлаждения типа «чиллер-фанкойл» или мультизональные системы.

При выборе системы кондиционирования для небольших производственных помещений площадью до 200 м² наиболее целесообразно применение обычных сплит-систем, выполненных по одинарной или многоблочной схеме. Типовая мощность таких кондиционеров ведущих мировых фирм-производителей позволяет поддерживать оптимальный температурный режим (как правило, от +18 до +30 °С) во всем воздушном объеме помещения без создания зон пониженной температуры, которые образуются в непосредственной близости от внутренних блоков сплитовых кондиционеров. Применение типовых внутренних блоков позволяет расположить их таким образом, что происходит воздухообмен во всей воздушной массе помещения.

В качестве примера можно привести данные для кондиционера сплитового типа модели LSK2460HL (фирма «LG», Республика Корея). Охлаждение/обогрев – 24000 ВТЕ/ч. Циркуляция воздуха 16/42 м³/мин. Потребляемая мощность ~2,7 кВт. Применение 4 таких кондиционеров, расположенных в противоположных углах помещения площадью 250 м² при высоте 4-5 м, позволяет создать оптимальный температурный режим (с возможностью регулирования в пределах целесообразных температур) и оптимальный режим воздухообмена.

Объекты площадью до 300-500 м² также вполне оправданно оснащать простыми сплит-системами. При очевидных недостатках такого подхода существуют и явные пре-

имущества, среди которых выделяются сравнительно невысокая стоимость, скорость выполнения работ и возможность поэтапной установки оборудования. Использование сплит-систем на небольших объектах при разумном проектировании не приводит к кардинальным изменениям в облике здания и в дальнейшем не создает проблем с их эксплуатацией и обслуживанием. Однако простые сплит-системы не позволяют организовывать централизованное управление. Разумным решением для объектов более 500 м² является центральное или мультizonальное кондиционирование. Традиционное центральное кондиционирование предполагает подачу охлажденного воздуха от одной вентиляционной установки по сети воздуховодов во все помещения здания. Такой подход обладает рядом преимуществ. Это одновременное решение задач кондиционирования и вентиляции и возможность экономии энергоресурсов при использовании в установке регенеративного теплообменника. Однако такой способ не всегда является оптимальным, поскольку при большом расходе воздуха, необходимом для компенсации тепловыделений, требуется система воздуховодов большего сечения, что не всегда возможно. Кроме того, для снижения тепловых потерь и устранения опасности выпадения конденсата воздуховоды необходимо теплоизолировать. Основная проблема центрального кондиционирования состоит в том, что в качестве теплоносителя используется воздух, обладающий низкой теплоемкостью. Другим недостатком этого метода является то, что для точного поддержания температуры в каждом отдельном помещении требуется система автоматического регулирования расхода воздуха в каждом помещении. Это значительно усложняет управление оборудованием, увеличивает стоимость всей системы в целом и предъявляет к ее обслуживанию повышенные требования. Модификацией описанного подхода является система с изменяемым расходом воздуха (VAV-variable air volume). Такие установки, в отличие от традиционных центральных кондиционеров, позволяют регулировать подачу воздуха в разные помещения. Однако перечисленные недостатки затрудняют их использование на объектах более 500-1000 м².

Проблему кондиционирования в таких помещениях можно решить, используя промежуточный хладоноситель с высокой теплоемкостью. В качестве такого теплоносителя можно использовать воду (система «чиллер-фанкойл»). Чиллер подготавливает холодную воду, которая по трубам подается к установленным в помещениях фанкойлам. Кроме воды можно использовать и другие хладагенты, например, фреон, а также системы кондиционирования с изменяемым расходом хладагента (VAV-variable refrigerant flow). Они по своей сути являются мультисистемами с расширенными возможностями. Наружный блок (компрессорно-конденсаторный агрегат) может иметь воздушное или водяное охлаждение.

Достоинствами таких систем является наличие ряда преимуществ:

- большое количество внутренних блоков, подключенных к наружному блоку;
- возможность объединения в единую систему с общим управлением;
- одновременная работа внутренних блоков на нагрев и охлаждение.

К объектам, на которых наиболее широко применяются мультizonальные кондиционеры, относятся производственные помещения, разбитые на отдельные боксы и отделения, а также производственные помещения на разных этажах здания. При этом наружный блок можно установить в удобном месте на значительном удалении от рабочих помещений.

Однако широкие возможности создают определенные трудности при проектировании и выборе агрегатов с учетом поддержания оптимальной температуры и условий ее регулирования. Выше указано, что VRF-системы позволяют производить одновременную работу внутренних блоков одной системы как на нагрев, так и на охлаждение. В этом случае в одном производственном помещении может наблюдаться картина распределения воздушных потоков подобно показанной на рис. 1.

Если средняя температура помещения составляет 22-23 °С, а установленная на внутренних блоках в помещениях 1, 2 и 3 температура будет соответственно 20, 30 и 25 °С, то блок в первом помещении будет работать на охлаждение, а блоки в помещениях 2 и 3 – на

нагрев. Так как в помещении 3 устанавливается температура, близкая к средней температуре, то воздушный поток от внутренних блоков будет создавать собственный микроклимат без циркуляции через проходы в соседние помещения. В помещении 1 холодный воздух будет опускаться и двигаться в нижнем ярусе, а в помещении 2 теплый поток будет подниматься и двигаться в верхний ярус. Взаимопроникновение потоков вызовет теплообмен. Таким образом, в помещениях 1 и 2 при открытом сообщении между внутренними средами помещений достижение требуемых условий микроклимата будет сопровождаться дополнительным теплообменом с расходом энергии и встречными разнотемпературными воздушными потоками, что вредно влияет на здоровье работающих.

Основным показателем комфорта и качества внутреннего воздуха для потребителей является его температура.

При расчетах систем кондиционирования пользуются так называемой «оптимальной» температурой внутреннего воздуха, которая для жилых, общественных и административно-бытовых помещений меняется в диапазоне от 20 до 25 °С в зависимости от периода года и скорости воздушных потоков в помещении. Оптимальные параметры микроклимата – состояние значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении. ГОСТ 30494-26.

В пределах данного диапазона проектировщик выбирает расчетную температуру внутреннего воздуха, по которой определяет тепловой баланс помещения в теплый, переходный и холодный периоды года. Причем с целью энергосбережения в теплый период года принимается максимальная температура, а в холодный – минимальная температура внутреннего воздуха из диапазона оптимальных.

С точки зрения существующей нормативной документации данный выбор расчетной температуры внутреннего воздуха абсолютно адекватен и широко используется при проектировании систем кондиционирования. Однако для многозональных систем (VRF, VAV, систем чиллер-фанкойлы, в некоторых случаях сплит-систем) данный выбор расчетной температуры приводит к невозможности поддерживать оптимальные параметры внутреннего воздуха в обслуживаемых помещениях.

Причина этого в том, что данные системы позволяют индивидуально выбирать потребителями значение необходимой внутренней температуры помещения. Диапазон выбора внутренней температуры достаточно широк и составляет (в большинстве систем) от 18 до 30 °С. Выбор температуры случаен и зависит от индивидуальных особенностей терморегуляции организма. Часто выбранная температура не попадает в диапазон нормируемых оптимальных параметров внутреннего воздуха, что обуславливается и самим определением оптимальных параметров микроклимата, которые оптимальны только для 80 % людей. Использование нормативных показателей, которые ориентированы на «среднего» человека, допустимо при проектировании больших помещений с множеством людей, например, кинотеатры, залы совещаний, спортивные комплексы. Многозональные системы кондиционирования, которые обеспечивают комфорт конкретного человека, необходимо проектировать с учетом его субъективных характеристик.

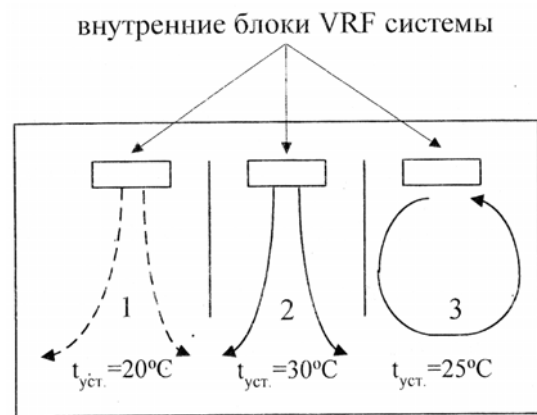


Рис. 1. Картина распределения воздушных потоков
Fig. 1. The distribution pattern of air flow

Получение комфортных характеристик показано в работе [1].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при использовании мультizonальных систем для кондиционирования производственных помещений большой площади возникает необходимость в правильном выборе расчетной температуры воздуха. Подход к решению этой задачи приведен в работе [2].

На основании анализа статистических данных получено распределение плотности вероятности температур в помещениях при мультizonальном кондиционировании, показанное на рис. 2.

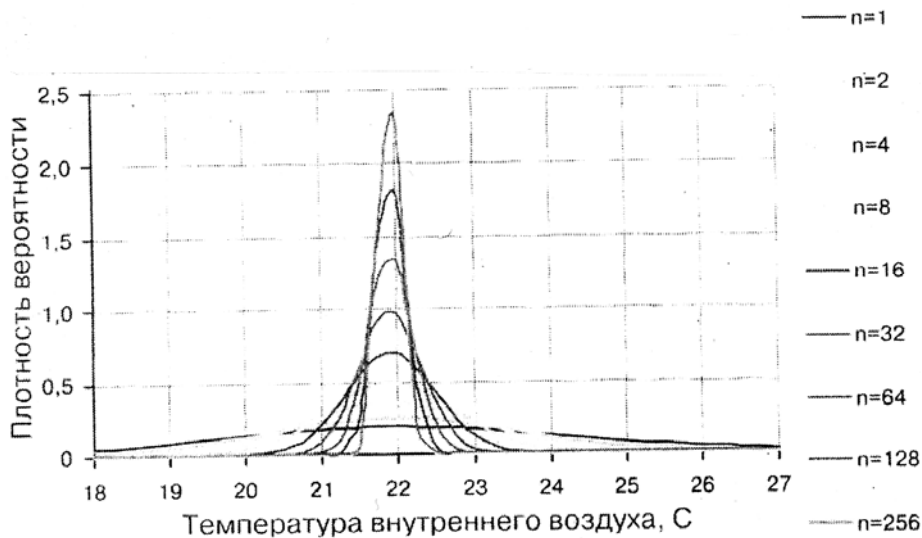


Рис. 2. Функции плотности вероятности средней температуры внутреннего воздуха при *n* местных кондиционерах

Fig. 2. Probability density function of the average length of the internal air «n» local air conditioners

Учитывая, что воздушное пространство любого помещения можно представить как неоднородную замкнутую среду, то при наличии разнотемпературных воздушных потоков будет происходить теплообмен, который может быть приближенно описан формулой

$$P = \xi S(Q_2 - Q_1) + mc \frac{d(Q_2 - Q_1)}{dt},$$

где *P* – поглощаемая (выделяемая) мощность; ξ – коэффициент теплопередачи; *S* – поверхность теплообмена; Q_2, Q_1, m – температурные и массовые параметры среды.

Теплообмен будет влиять на установившуюся температуру, особенно при значительной разнице установившихся температур на внутренних блоках мультizonальной системы. Вопросы контроля этих параметров изложены в работе [3].

Вопрос контроля температуры важен для технических решений при построении систем кондиционирования. Оптимальное управление такими системами возможно при наличии информации об «истинном» значении температуры в определенной точке внутренней экосистемы. Кроме того, исполнительные устройства системы кондиционирования завязаны на данные термодатчиков, находящихся в устройствах системы.

Внутри устройство может быть представлено в виде неоднородной замкнутой среды.

К понятиям контроля температуры в неоднородных замкнутых средах могут быть сведены разнообразные процессы термоизмерения как в различных технологических процессах, так и в макросистемах, например, контроль температуры воздуха бытовых помещений при кондиционировании воздуха.

Для правильного, оптимального для конкретного технологического процесса или макросистемы выбора схемного и конструктивного решения системы контроля температуры необходимо выделить основные критерии, на основании которых формируются требования к устройствам контроля. К таким требованиям целесообразно отнести диапазон измеряемых температур, точность контроля, инерционность и величину теплового «загрязнения» измеряемого объекта.

Диапазон измеряемых температур может определяться формулой

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1,$$

где θ_2 – максимально возможная температура контроля; θ_1 – минимально возможная температура контроля.

Диапазон измеряемых температур должен учитываться при выборе термочувствительных элементов датчиков в приборах контроля. Точность контроля выражается формулой

$$\sigma = \frac{\theta - \theta_1}{\theta} \cdot 100 \%,$$

где θ_2 – измеренное значение температуры; θ_1 – истинное значение температуры.

Точность контроля в наибольшей степени определяется выбранными схемными и конструктивными решениями приборов контроля.

Тепловая инерционность наиболее сильно сказывается на точности контроля, особенно при экспресс-контроле и дискретном контроле с малыми временными промежутками. Необходимость решения задачи с тепловой инерционностью возникает в двух случаях. В первом случае датчик, имеющий массу m и удельную теплоемкость C , находится в среде с постоянной температурой θ_1 и в момент времени t_1 включается в работу. В результате его функционирования в нем выделяется мощность p (активный датчик) и его температура $\theta_2(t)$ начинает нарастать. При достижении равновесного состояния со средой изменение температуры прекращается.

Процесс в приближенном виде может быть описан уравнением

$$P = \xi S(\theta_2 - \theta_1) + mc \frac{d(\theta_2 - \theta_1)}{dt},$$

где S – поверхность теплообмена (суммарная площадь поверхности датчика и подводных элементов); ξ – коэффициент теплопередачи.

Приведенное уравнение соответствует уравнению аperiodического звена с постоянной времени:

$$T = \frac{mc}{\xi S}.$$

Во втором случае датчик с массой m и теплоемкостью c , имеющий температуру θ_2 в момент времени t , помещается в контролируемую среду с температурой θ_1 . В результате теплообмена со средой его температура начинает стремиться к значению θ_2 . Этот процесс описывается выражением

$$\theta_1 = \theta_2 + \frac{mc}{\xi S} \cdot \frac{d\theta_2}{dt}.$$

На рис. 3 показана экспериментальная кривая переходного процесса теплового преобразователя. Отличие этой кривой от переходного процесса аperiodического звена в том, что на начальном участке $t_1 - t_2$ имеют место дорегулярный режим, связанный с теплораспределением внутри самого тела датчика, и установление градиентов температур, которые соответствуют однонаправленному тепловому потоку. Кривизна участка дорегулярного режима зависит от однородности структуры датчика и может быть целенаправленно изменена путем применения датчика с большей неоднородностью масс. На участке $t_2 - t_3$ протекает регулярный режим установления температуры, после t_3 наступает установившийся режим теплового равновесия.

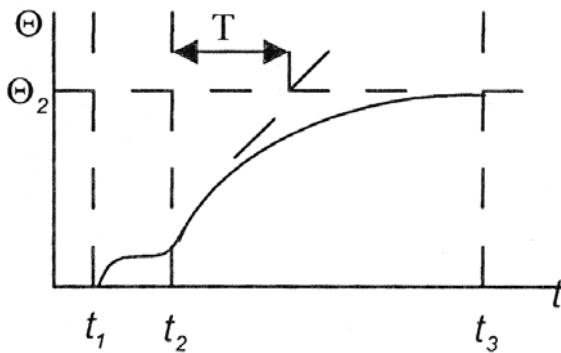


Рис. 3. Переходный процесс теплового преобразователя
Fig. 3. The transition process of the thermal converter

При незначительной неоднородности масс датчика нерегулярный режим занимает относительно малое время и теплоинерционный расчет датчика может проводиться, как для аperiodического звена. Тепловая постоянная времени определяется полной теплоемкостью преобразователя и условиями его обмена с окружающей средой, поэтому один и тот же преобразователь имеет разные постоянные времени в зависимости от условий теплообмена. Для расчета постоянной времени надо находить общую теплоемкость всех входящих в датчик элементов. Расчеты могут быть выполнены с требуемой степенью точности. Приближенные расчеты могут быть проведены исходя из средней теплоемкости металлов в пределах 400-600 Дж/(кг·К), теплоемкости неорганических изоляционных материалов (слюда, фарфор) – 800-1000 Дж/(кг·К), теплоемкости органических материалов (текстолит, гетинакс) – 1200-1400 Дж/(кг·К).

Коэффициент теплоотдачи зависит от среды, обработки поверхности датчика, конвекционных характеристик среды контроля. Постоянные времени различаются в очень широких пределах. Промышленные термоизмерители имеют постоянную времени в пределах 3-6 мин. Терморезисторы, выполненные из отрезка медной проволоки, имеют значительно меньшее значение постоянной времени, однако даже нить диаметром в сотые доли миллиметра имеет постоянную времени около одной секунды.

«Тепловым загрязнением» среды контроля является внесение температурных изменений в контролируемую среду за счет того, что теплопроводность датчика и соединяющих элементов оказывается выше, чем теплопроводность самой контролируемой среды. За счет этого в среде появляется новый, непредусмотренный теплоноситель, который может существенно исказить поле распределения температур. Основным уравнением «теплового загрязнения» является уравнение теплового баланса, физический смысл которого заключается в том, что вся теплота, поступающая к преобразователю, идет на повышение его теплоемкости θ_{mc} , следовательно, если теплосодержание датчика остается неизменным, то количество поступающей в единицу времени теплоты равно количеству отдаваемой теплоты. Теплосодержание при неизменном агрегатном состоянии вещества зависит от массы m и удельной теплоемкости C материала преобразователя и связано с температурой преобразователя выражением

$$\theta_{mc} = mc\theta.$$

Теплообмен может осуществляться посредством теплопроводности, конвекции или излучения. В реальности имеет место комбинация различных способов теплообмена.

Из-за «теплого загрязнения» наблюдается эффект искажения результатов контроля, так и датчик фактически измеряет не температуру контролируемой среды, а температуру в зоне «теплого загрязнения». При этом при низкой теплопроводности среды и высокой теплопроводности системы датчик – соединительные элементы искажение результатов может достигать значений в единицы и даже десятки градусов.

Примером влияния «теплого загрязнения» в технологическом процессе может служить опытная установка для определения оптимальных режимов стерилизации консервов. В макросхемах таким примером может служить система кондиционирования сплитового типа.

При дистанционном управлении пульт управления, совмещенный с термодатчиком, находится в руке у оператора, что приводит к искажению реальной температуры, отображаемой на табло, на 1-3 °С.

В качестве термочувствительных элементов может быть использовано большое число термопреобразователей. Однако, исходя из требований инерционности и минимизации «теплого загрязнения», целесообразно остановиться на терморезисторах и термопреобразователях на основе полупроводникового $P - H$ перехода. Термопреобразователи на основе термопар могут применяться в широком диапазоне температур в приборах с достаточно высокой точностью контроля.

Однако термопары имеют сравнительно большие габариты и высокую инерционность, что позволяет использовать их только при медленно протекающих процессах.

Терморезисторы бывают проволочного и полупроводникового типов. В проволочных терморезисторах используются чистые металлы: медь, платина, вольфрам, никель и т.д. Использование проволочных терморезисторов в измерителях с малой инерционностью усложняется, так как требуется значительная линейная длина проволоки. В этом случае целесообразно применять вольфрамовые терморезисторы, так как они обладают малой инерционностью, а следовательно, высокой чувствительностью.

При необходимости пересчета проволочных терморезисторов для требуемой температуры можно пользоваться формулой

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1} \cdot (1 + d_{\theta_2}) / (1 + \alpha\theta_1),$$

где R_{θ_2} – сопротивление при температуре θ_2 ; R_{θ_1} – сопротивление при температуре θ_1 ; α – коэффициент / для меди $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$.

Температурная зависимость сопротивления полупроводниковых терморезисторов достаточно полно описывается формулой

$$R_{\theta} = A \cdot e^{B/T},$$

где T – абсолютная температура; A – коэффициент, имеющий размерность температуры.

Если для применяемого терморезистора не известны коэффициенты A и B , но известны сопротивления R_1 R_2 при температурах T_1 и T_2 , то пересчет можно произвести по формулам

$$R_2 = R_1 \cdot e^{B(1/T_2 - 1/T_1)}, \quad B = \frac{T_2 \cdot T_1}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2}.$$

Приборы, в которых в качестве датчиков используются полупроводниковые терморезисторы, должны проходить настройку и переградуировку при замене термочувствительных элементов датчиков.

Термоизмерители на основе датчиков с полупроводниковым $P - N$ переходом – термодиоды и термотранзисторы. Связь между током через переход и падением напряжения на нем определяется уравнением

$$I = I_0 \cdot e^{-B/T} \cdot (e^{qU/KT} - 1),$$

где $e^{-B/T}$ – ток насыщения, зависящий от абсолютной температуры T ; I_0 – ток насыщения при $T \rightarrow \infty$; $q = 1,6 \cdot 10^{19}$ Кл – заряд электрона; $K = 1,3810^{-23}$ Дж / К – постоянная Больцмана.

Температурная чувствительность датчиков такого типа составляет 1,0-2,0 мВ/К. Применение термодатчиков на основе полупроводниковых $P - N$ переходов целесообразно для экспресс-диагностики, а также в высокоточных приборах экспериментальных производств.

Общий анализ проблемы выбора термочувствительных датчиков для построения принципиальных схем термоизмерителей для контроля температурных параметров в неоднородных замкнутых средах должен строиться на основе выбора основных критериев для оценки применимости того или иного вида датчика. В качестве таких критериев можно выделить: диапазон температур, требуемую точность контроля, инерционность, допустимую величину «теплового загрязнения», целесообразно также применение компьютерных программ для оценки датчиков различного вида по выбранным критериям.

Применение вышеизложенных рассуждений к макросистемам, в частности к системам кондиционирования сплитового типа, эксплуатирующимся в замкнутых помещениях, позволяет оптимизировать систему управления кондиционерами и сократить расходы электроэнергии.

Современные системы кондиционирования, как правило, имеют дистанционные пульты управления, позволяющие оператору производить изменение режимов работы системы, воздействуя непосредственно на органы управления, расположенные на таком пульте.

В сплитовых системах кондиционирования на пульте расположены кнопки включения и выключения, изменения режимов работы («охлаждение», «нагрев», «осушение»), изменение интенсивности и угла обдува вентилятора, а также кнопки задания температуры. Заданные параметры преобразуются электронной схемой пульта в кодированный сигнал, передаваемый на приемник внутреннего блока инфракрасным лучом. При задании определенной температуры на пульте дистанционного управления такой режим через определенный промежуток времени устанавливается при достижении заданной температуры в воздухе, выдуваемом вентилятором внутреннего блока, так как датчик температуры (терморезистор) установлен непосредственно на радиаторе внутреннего блока. При этом температура в зоне нахождения оператора с дистанционным пультом будет отличаться от заданной. Схематично управление по температурным параметрам показано на рис. 4.

На рис. 4 показаны приемник управляющих сигналов 1; схема управления 2; датчик температуры 3; дистанционный пульт управления с кнопками задания температуры 4.

Отличие реальной температуры в зоне оператора с пультом от заданной зависит от расстояния от внутреннего блока кондиционера, угла направления потока воздуха, наличия зон завихрения (стены или предметы на пути воздуха) и т.д. При этом реальная температура может отличаться от заданной на несколько градусов, что не позволяет создать достаточно комфортные условия для персонала в зоне нахождения оператора с пультом. Отличие реальной температуры от заданной может быть проиллюстрировано графиком, приведенным на рис. 5.

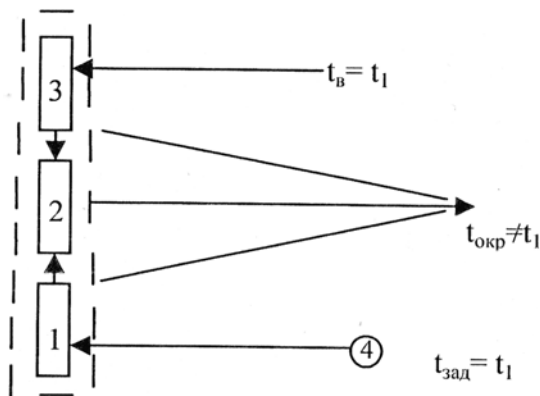


Рис. 4. Управление по температурным параметрам
Fig. 4. Office of temperature parameters

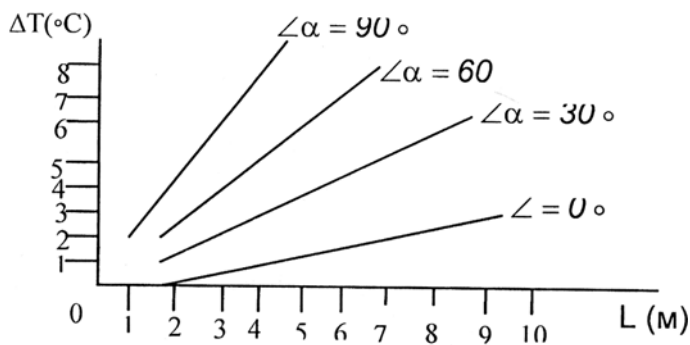


Рис. 5. Изменение отличия реальной температуры от заданной в зависимости от расстояния и угла потока
Fig. 5. Changing the actual temperature differences on the set according to the distance and angle of flow

Такой график действует только при определенной разнице между имеющейся и задаваемой температурами. Чем выше разница между имеющейся и задаваемой температурами, тем в большей степени проявляется нелинейность подъема температуры на кривых графика.

Представляется целесообразным в определенных случаях иметь корректирующий терморезистор, расположенный в дистанционном пульте, связанный с основным терморезистором во внутреннем блоке через сигнал управления. Такая схема достаточно легко реализуется с помощью незначительных изменений в пульте управления, так как пульт в основной комплектации укомплектован датчиком температуры для информирования оператора о температуре окружающей среды.

При такой доработке может быть улучшены условия труда для лиц, находящихся в зоне кондиционирования и пользующихся дистанционным пультом управления.

При проектировании систем кондиционирования производственных помещений большой площади целесообразно проведение предварительного математического моделирования с использованием вероятностных методов для определения внутренних температурных полей и их распределения внутри помещений. Это позволит оптимизировать выбор типа и мощности проектируемой системы кондиционирования.

Список литературы

1. Бурцев С.И., Цветков Ю.И. Тепловой и газовый комфорт с учётом индивидуальных особенностей человека // Арктический СНИП. – 2003. – № 1.
2. Брух С.Л. Вероятностный метод выбора расчётной температуры внутреннего воздуха при проектировании многосвязных систем кондиционирования // Арктический СНИП. – 2002. – № 4.
3. Кирюха В.В. Контроль температурных параметров в неоднородных замкнутых средах // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2001. – Вып. 14.

Сведения об авторе: Кирюха Владимир Витальевич, доцент.