

С.Н. Осипов,
д.т.н., проф.

А.В. Захаренко,
аспирант

Е.М. Широкова,
аспирант

ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.»

Белорусский национальный технический университет

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНДИЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ МЕСТАМИ ПРЕБЫВАНИЯ ЛЮДЕЙ

УДК 697.9

Аннотация

До настоящего времени решение вопросов энергоэффективности кондиционирования мест длительного (в течение 5–6 часов и более) пребывания людей, особенно при сидячей работе и отдыхе, не являлось достаточно актуальным, в первую очередь, из-за ограниченного применения подобных систем (как правило, устанавливались отдельные воздухоохладители с вентиляторами в верхних частях помещений) и, как следствие, относительной малости затрат энергии. Однако в связи с постоянным повышением максимальных температур в теплый период года, что особенно резко проявилось в Минске в апреле–июне 2019 г., организация комфортных условий пребывания человека, в первую очередь, в рабочее время, становится актуальной задачей для большинства работодателей. Таким образом, в связи с безусловным необходимым увеличением объемов кондиционируемых помещений в ближайшем будущем, оптимизация данного процесса, в частности, в сфере энергопотребления позволит обеспечить общую экономию электроэнергии, особенно в южных районах нашей страны. В данной статье представлены варианты энергоэффективного распределения кондиционированного воздуха в помещении с определенными местами пребывания людей.

Annotation

Energy-efficient distribution of air conditioning in the room with certain places of stay of people

To date, the solution of energy efficiency of air conditioning the places of long-term (for 5–6 hours or more) stay of people especially when sitting work and rest was not quite relevant, primarily due to the limited use of such systems (as a rule, installed separate air coolers with fans in the upper parts of the premises) and, as a consequence, the relative smallness of energy costs. However, due to the constant increase in maximum temperatures during the warm season, which was particularly pronounced in Minsk in April–June 2019, the organization of comfortable conditions for a person's stay, primarily during working hours, becomes an urgent task for most employers. Thus, in connection with the unconditional necessary increase in the volume of air-conditioned premises in the near future, the optimization of this process, in particular in the field of energy consumption will ensure overall energy savings, especially in the southern regions of our country. This article presents options for energy-efficient distribution of air conditioning in a room with certain places of stay of people.

Введение

Несмотря на то, что в советский период очень долгое время кондиционирование помещений считалось непозволительной «буржуазной роскошью», вопросами необходимости создания комфортной среды в зоне рабочих мест в теплые периоды года задались именно тогда. Основной принцип кондиционирования помещений, реализуемый большинством технических решений того периода, заключался в организованной подаче охлажденного воздуха из одной точки помещения и его такого же организованного забора из другой. При этом, как правило, охлаждался весь объем помещения, несмотря на расположение локальных участков активной деятельности человека в нем. Так, например, согласно одному из подходов [1] кондиционируемый воздух подавался вдоль ограждающих поверхностей в нижнюю часть зоны работы или отдыха человека, а затем уже отработанный воздух (движущийся в направлении, обратном вночь подаваемому) удалялся из верхней части кондиционируемой зоны. Следует отметить,

что движение поступающих в помещение кондиционируемых воздушных масс было организовано в ламинарном режиме, что позволяло снизить интенсивность их теплообмена с ограждающими поверхностями.

Среди недостатков данного способа можно выделить ограничение, вследствие контроля за допустимым перепадом температур воздушного потока (не более 6–7°C), на оптимальное количество людей, находящихся в кондиционируемой зоне (1–2 человека); существенное влияние на эффективность процесса кондиционирования температуры омываемых охлажденным воздушным потоком поверхностей помещения (в соответствии с этим, эффективность способа кондиционирования сохранялась при температуре наружного воздуха не более 35°C) и др. К недостаткам также можно было отнести то, что заборное устройство отработанного воздуха имело фиксированную высоту, хотя более приемлемым было бы его перемещение в зависимости от объема тепла, поступающего в помещение.

Регулировка заборного устройства отработанного воздуха была использована в способе, представленном в авторском свидетельстве [2].

Интересен способ распределения воздуха в помещении, который заключается в подаче и распределении приточного воздуха по всей зоне отдыха или работы человека в ламинарном режиме, а также в последующем удалении отработанного воздуха (который движется в обратном приточному воздуху направлении) над зоной отдыха или работы человека также в ламинарном режиме [3]. Следует отметить, что использование ламинарного режима подачи и забора отработанного воздуха позволяет значительно снизить энергозатраты при формировании комфортной воздушной среды в помещении. При этом следует учитывать, что при таком режиме воздухообмена также наблюдаются значительные ограничения на количество находящихся в помещении людей (оптимально не более 2–3 человек). Данный факт объясняется, в первую очередь, значительной площадью теплоотдающих поверхно-

стей, в частности, пола и нижней части стен, которые нагревают обратный поток воздуха, что значительно снижает эффективность применения теплообменников-утилизаторов в кондиционере.

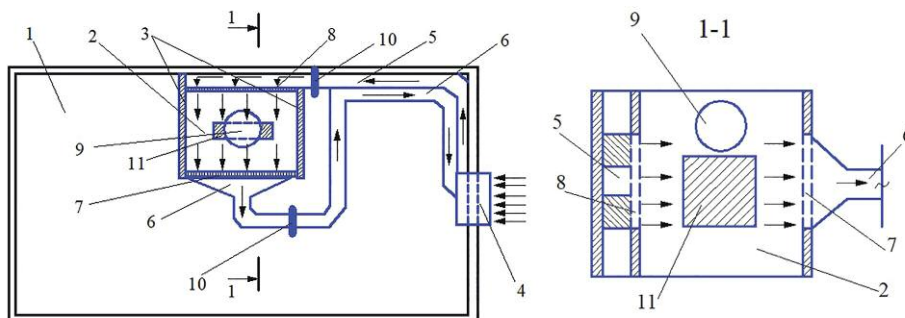
Очевидно, что во всех рассмотренных вариантах одним из основных недостатков является ограничение на возможное количество человек, которые могут находиться в кондиционируемом помещении при сохранении оптимальной эффективности данного процесса, что является недопустимым при современных условиях организации труда, когда в некоторых случаях в больших помещениях даже административного назначения может находиться до нескольких десятков человек. Таким образом, с целью минимизации затрат при кондиционировании подобных больших помещений наиболее целесообразным является выделение неких локальных участков подачи кондиционируемого воздуха и его последующего организованного удаления. Далее рассмотрим два схожих способа в организации данного подхода, в одном из которых холодные потоки воздуха организованно подаются с боковых поверхностей, а в другом – сверху вниз.

Основная часть

Первый вариант реализации принципа локального кондиционирования воздуха заключается в создании так называемой «воздушной ванны» путем организации стационарного или временного объема в помещении при помощи установки неких ограждений, которые, во-первых, должны обладать малой проницаемостью для воздуха (допускается утечка воздуха не более 10% из кондиционируемого локального объема), а, во-вторых, должны плотно примыкать к полу и прилегающим вертикальным ограждениям, а также иметь высоту, не превышающую верхнюю границу зоны отдыха или работы человека. Наиболее эффективным конструктивным решением ограждений подобной «воздушной ванны» можно считать некие каркасы, например, обтянутые полиэтиленовой пленкой или пластиковые перегородки из ПВХ в виде ширм и т.п. конструкций. Следует отметить, что дополнительная теплоизоляция ограждающих поверхностей (в т.ч. конструкции пола), в частности, при использовании многослойных пленок с воздушными промежутками или тканей с густым ворсом еще более повышает эффективность рассматриваемого способа кондиционирования. Достаточную тепло-

Следует отметить, что использование ламинарного режима подачи и забора отработанного воздуха позволяет значительно снизить энергозатраты при формировании комфортной воздушной среды в помещении.

Рис. 1. Схема движения горизонтальных воздушных потоков в помещении с использованием локального объема кондиционирования



1 – помещение; 2 – локальный объем кондиционирования; 3 – ограждение локального объема; 4 – устройство для удаления отработанного воздуха; 5 – воздуховод для подачи кондиционированного воздуха; 6 – воздуховод для удаления отработанного воздуха; 7 – воздухоприемное устройство; 8 – приточное воздуховодное устройство; 9 – человек; 10 – воздухорегулирующие заслонки; 11 – компьютер или иное теплогенерирующее устройство.

изоляцию должны также иметь непосредственно сами воздуховоды (важно, чтобы холодопотери при транспортировке кондиционированного воздуха к «воздушной ванне» не превышали 10% от холодопотребления).

Именно в этот локальный объем помещения, в котором концентрируется пребывание людей, подается изначально охлажденный воздух, который затем организованно удаляется из него в холодоутилизатор кондиционера. При этом необходимо отметить, что перемещаемые в этом объеме воздушные потоки характеризуются ламинарным и близким к нему движением.

Среди явных преимуществ представленного способа кондиционирования можно, в первую очередь, отметить наличие меньших поверхностей теплообмена с окружающей средой (ориентировочно в 3–5 раз меньше по сравнению с площадью ограждений всего помещения), что позволяет сконцентрировать основное действие охлажденного воздуха непосредственно на находящихся в кондиционируемом объеме людей. Так, рассматриваемые локальные объемы позволяют ограничиться подачей в них по 30–40 м³/ч охлажденного воздуха на каждого человека, температура которого может составлять около 21°C, притом что температура удаляемого воздуха может быть равна 26°C, что создает достаточно благоприятные условия легкого труда (офисная или научная работа) и отдыха при интенсивности сухого тепла человека около 80 Вт/ч и влаги около 140 г/ч [4].

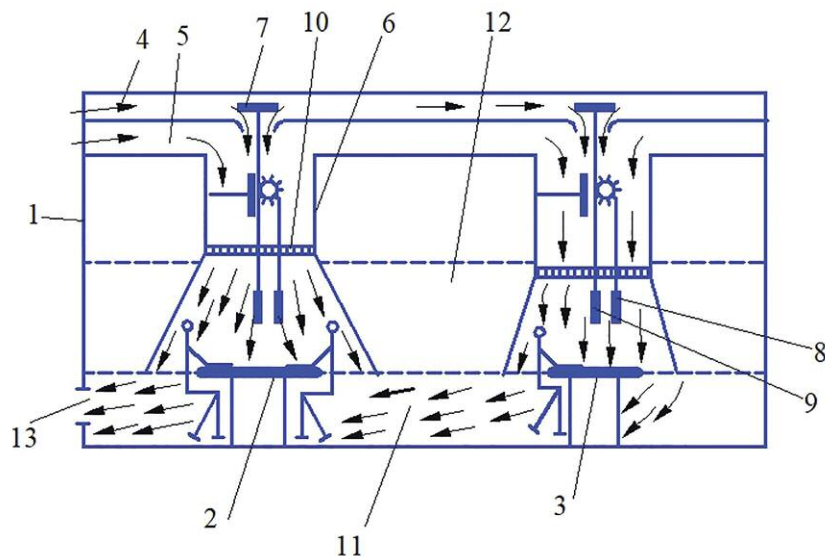
Можно также отметить существенное повышение энергоэффективности данного процесса, в частности, за счет рекуперации

значительной части возвращаемого в кондиционер холодного воздуха. Его непрямые потери значительно снижаются, что позволяет в целом снизить энергозатраты на процесс кондиционирования ориентировочно в 2–3 раза в расчете на одного человека. Данный фактор обуславливает возможность использования даже маломощных кондиционеров в условиях достаточно высоких наружных температур.

При использовании рассматриваемого способа кондиционирования особое внимание необходимо уделять контролю параметров влажности воздушной среды. В соответствии с *i-d* диаграммой влажного воздуха «сухое» охлаждение воздуха (т.е. без конденсации влаги) с начальной температуры, равной 45°C, до температуры 20°C осуществимо при величине начальной относительной влажности в $\phi < 25\%$. Так, если начальная относительная влажность охлаждаемого воздуха равна $\phi = 20\%$, то в процессе охлаждения, например, до температуры $t = 20^\circ\text{C}$ она повысится до $\phi = 85\%$, а затем при постепенном нагреве воздуха в процессе теплообмена с ограждающими конструкциями и находящимися в помещении людьми до 27°C снизится до $\phi = 45\%$. Необходимо также учитывать, что при добавлении так называемых испарений человека относительная влажность воздуха еще повысится (до 70% при учете 4 г H₂O испарений человека на 1 м³ воздуха). Очевидно, что в данном случае итоговая относительная влажность воздушных масс превышает нормированные значения ($\phi = 50\text{--}60\%$) [5], однако общее состояние воздушной среды благодаря средней температуре в охлаждаемом помещении около 24°C будет считаться приемлемым.

Сущность рассматриваемого способа поясняется схемой передвижения горизонтальных воздушных потоков в помещении, представленной на рис. 1. Следует ►

Рис. 2. Система кондиционирования помещения с фиксированными местами пребывания людей



1 – помещение; 2, 3 – фиксированные места пребывания людей; 4 – воздуховод для подачи кондиционированного воздуха с индивидуальными параметрами; 5 – воздуховод для подачи кондиционированного воздуха с общими характеристиками; 6 – приточное воздухораспределительное устройство; 7 – регулирующие клапаны; 8, 9 – тяги; 10 – перфорированные панели для формирования рассеянных струй; 11 – нижняя зона фиксированных мест пребывания людей; 12 – верхняя зона фиксированных мест пребывания людей; 13 – отверстие для удаления отработанного воздуха.

отметить, что в качестве воздухораспределительного устройства может быть использован любой тип современных воздухораспределителей, в частности, с тканевым или каким-либо другим специальным покрытием на выходе воздуха. Кроме того они могут предусматриваться либо отдельно расположенными, либо встроенными в устанавливаемые ограждения. Главное при этом – это обеспечение возможности регулирования высоты расположения уровней подачи кондиционированного воздуха, а также организация ламинарного режима движения воздушных масс в локальном объеме кондиционирования. Для обеспечения ламинарного режима движения воздуха в рассматриваемой системе кондиционирования применяют устройства, регулирующие силу потока воздуха – заслонки, расположенные непосредственно в сечении воздуховода. Стрелками на схеме показано направление движения воздуха – охлажденного из кондиционера по подающему воздуховоду и отработанного из локального объема кондиционирования по удаляющему воздуховоду в холодоутилизатор кондиционера, в котором производится рекуперация тепла отработанного воздуха и кондиционирование воздуха, поступающего в помещение.

Техническая реализация распределения охлажденного воздуха внутри локального объема помещения может быть выполнена в нескольких вариантах, в т.ч. указанных в прототипах [1–3, 6]. При этом поступление

охлажденного воздуха осуществляется, как правило, естественным путем, благодаря температурному различию плотностей воздушных масс, а наиболее простым способом удаления так называемого отработанного воздуха можно считать вариант его вытеснения через верхнюю грань существующих ограждений кондиционируемого локального объема. В общем случае для наиболее рациональной организации процесса кондиционирования приточное и воздухозаборное устройства должны располагаться с противоположных сторон, причем последнее необходимо размещать на уровне ниже минимальной высоты ограждения.

Если рассматривать оптимальное соотношение между объемами подаваемого охлажденного и забираемого теплого воздуха, то они должны быть приблизительно равными, что позволит в итоге (при начальных параметрах охлаждаемого воздуха $t = 45^\circ\text{C}$ и $\phi = 20\%$, а также итоговой температуре отработанного воздуха $26\text{--}28^\circ\text{C}$) значительно (ориентировочно на 40%) снизить требуемую производительность кондиционера. Так, при данных условиях общий расход охлажденных воздушных масс для кондиционирования локального объема при легкой категории работ или отдыха находящихся в нем двоих человек составляет около 120–140 Вт/ч, что примерно в три раза меньше по сравнению с расходом холода согласно аналогам при тех же условиях. Очевидно, что снижение требуемой

производительности кондиционера значительно сказывается на общем энергопотреблении систем кондиционирования. И даже в случае необходимости первоначального принудительного снижения влажности обрабатываемого наружного воздуха эффективность предлагаемого способа не снижается ниже двукратной. Следует отметить, что среди прочих факторов снижения эффективности рассматриваемого способа кондиционирования можно отметить наличие дополнительных источников тепловыделений (например, различной компьютерной техники, тепловыделение которой в 1,5–2 раза выше, чем у человека [7, табл. 2 и 5]). Однако даже в этом случае общий расход холодного кондиционируемого воздуха будет составлять всего лишь 50–65% от уровня расхода при кондиционировании обычного типа.

Второй вариант кондиционирования воздуха локальных мест пребывания людей в помещении отличается тем, что приточный воздух подается сверху вниз (соответственно отработанный воздух удаляется из нижней части помещения), причем в данном случае имеется возможность индивидуальной регулировки параметров подаваемого охлажденного воздуха (рис. 2) [8]. В общем случае процесс кондиционирования помещения в рассматриваемом варианте осуществляется следующим образом. Предварительно охлажденный воздух подается в воздуховод (5), по которому он переходит непосредственно в воздухораспределительные устройства, оборудованные в местах выхода воздушных масс перфорированными панелями, формирующими так называемые рассеянные струи, которые и направляются в обозначенные локальные места кондиционирования. Для обеспечения требуемых индивидуальных параметров воздушной среды на каждое так называемое фиксированное место уже по соседнему воздуховоду (4) подаются воздушные массы с некоторыми отличительными характеристиками. По средством тяг (8, 9) в распределительных устройствах изменяется положение клапанов (7), вследствие чего меняется объем подсаживаемого воздуха из воздуховода (4) и перемешиваемого в распределительных устройствах с воздухом, подаваемым по воздуховоду (5).

Удаление отработанного воздуха потоком ламинарного режима осуществляют из нижней зоны помещения через специальное отверстие. При этом верхнюю границу удаляемого ламинарного потока поддерживают ниже органов дыхания человека. В целом можно отметить, что представленная технология кондиционирования, как и ранее рассмотренные варианты, позволяет значительно улучшить условия труда и отдыха человека в так называемых локальных объе-

мах, при минимальном перемешивании воздушных масс охлажденного воздуха с теплым воздухом помещения, что, безусловно, повышает энергоэффективность всего процесса.

Заключение

Рассмотренные варианты кондиционирования локальных мест пребывания человека свидетельствуют о целесообразности применения подобных систем в условиях повышающейся необходимости организации качественной воздушной среды, особенно в теплый период года. Оба варианта, как с боковой подачей приточного воздуха, так и с верхней, характеризуются не только снижением металлоемкости подобных систем, но и уменьшением эксплуатационных затрат в целом, в первую очередь за счет экономии используемой электроэнергии. Среди ключевых особенностей способа с боковым притоком воздуха можно выделить возможность изменения высоты располо-

жения уровней подачи кондиционированного и удаления отработанного воздуха, а с верхним – возможность обеспечения индивидуальных параметров микроклимата воздушной среды при помощи отличающихся смежных воздухопроводов подачи кондиционируемого воздуха.

Литература

1. Способ распределения воздуха в помещении: а. с. SU №1692235 А1, F24F5/00,7/00 / С.Н. Осипов [и др.]. – Оpubл. 07.12.1988.
2. Способ распределения воздуха в помещении: а. с. SU №1812860 А2, F24F5/00,7/00 / С.Н. Осипов [и др.]. – Оpubл. 09.04.1990.
3. Способ распределения воздуха в помещении: а. с. SU №1786340 А1, F24F7/00 / С.Н. Осипов, В.М. Староверов, А.И. Кленовский, А.А. Абдусаидов. – Оpubл. 06.02.1991.
4. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика: теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования

воздуха. [Учебник для вузов по спец. «Теплогазоснабжение и вентиляция»]. – 2-е изд., перераб. и дополнен. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.

5. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. Введ. 01.01.2005 (с отменой на территории РБ СНиП 2.04.05-91). – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2015. – 81 с.

6. Способ распределения воздуха в помещении: Евразийский пат. № 011697 / С.Н. Осипов. – Оpubл. 28.04.2009.

7. Борухова, Л.В., Шибек, А.С. Определение воздухообмена в помещениях общественных зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций / Л.В. Борухова, А.С. Шибек // Наука и техника. – 2017. – Т. 16. – № 2. – С. 125–130.

8. Способ вентиляции помещения с фиксированными местами пребывания человека: а. с. SU №1789835 А1, F24F7/00 / С.Н. Осипов, В.М. Староверов. – Оpubл. 23.01.1993. ■

Энергосмесь

Новое устройство поможет обеспечить водой и электроэнергией миллионы людей

Команда ученых из Научно-технологического университета имени короля Абдаллы (Саудовская Аравия) заявила о разработке устройства, которое может облегчить будущее всему населению Земли.



Как сообщают исследователи, они сконструировали трехступенчатый мембранный дистиллятор, испаряющий морскую воду при относительно низких температурах, и прикрепили его к задней части фотоэлектрической панели.

«Ранее отработанное тепло от фотоэлектрических панелей игнорировали, никто не думал об этом как о ресурсе. Мы же использовали тепло для генерации водяного пара, который транспортируется через мембрану, а затем конденсируется на другой стороне», – рассказал профессор Пэн Ван.

Поскольку устройство дистиллятора многоступенчатое, оно позволило задействовать в процессе «скрытое» тепло и запустить второй цикл испарения воды. Таким образом, ученые произвели в три раза больше воды, чем обычные опреснители, работающие на солнечной энергии, а также выработали электричество с эффективностью более 11 процентов.

Устройство площадью в один квадратный метр перекачало 1,6 литра морской воды за час, при этом процесс производства электричества нарушен не был.

Авторы работы утверждают, что новая технология теоретически способна дать 10 процентов от общего количества питьевой воды, которое человечество употребило в 2017 году, и ее можно использовать в прибрежных районах. Однако для такой масштабной затеи и размещения установок потребуется 4000 квадратных километров земли.

Тем не менее, ученые ожидают, что коммерческое использование нового устройства станет возможным через пять лет. По мнению разработчиков, устройство может изменить мир, поскольку на сегодня более 700 миллионов

людей не имеют свободного доступа к чистой воде. В арабских странах около 15 процентов добываемой энергии тратится на производство питьевой воды. В то же время традиционные методы получения электроэнергии, соответственно, потребляют огромное количество воды.

К примеру, в США и Европе около половины забираемой воды уходит на выработку электричества. А современные солнечные панели, в свою очередь, при производстве электричества используют всего лишь 10–20 процентов тепла.

naked-science.ru

«Иста Митеринг Сервис» • 220034, г. Минск, ул. 3. Бядули, 12
тел.: (017)271-3311, 224-6849, 224-6858; факс: (017)224-0569
e-mail: minsk@ista.by • <http://www.ista.by>
отдел расчетов: (017)224-5667 (-68) • e-mail: billing@ista.by



- Система индивидуального (поквартирного) учета тепловой энергии на базе распределителей тепла «Экземпер», «Доприно III радио»: от монтажа приборов до абонентских расчетов для десятков тысяч потребителей.
- Энергосберегающее оборудование «Данфосс», «Заутер», «Петтинароли»: радиаторные термостаты, системы автоматического регулирования отопления зданий, арматура.
- Приборы учета тепловой энергии «Сенсоник II» с расходом теплоносителя от 0,6 до 2,5 м³/ч с возможностью удаленного сбора информации.
- Запорно-регулирующая арматура: шаровые краны, радиаторные вентили, задвижки, фильтры, компенсаторы, обратные клапаны и т.д.
- Насосное оборудование «Грундфос».

УНП 100338436