

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДИЦИОНИРУЕМОЙ ОДЕЖДЫ

© 2012 Н. В. Савченко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрена возможность создания среды для условий нагревающего микроклимата на примере развития и совершенствования кондиционируемой одежды.

Нагревающий микроклимат, кондиционируемая одежда, индивидуальный кондиционер, вихревой эффект, теплозащита, фазовый переход, испарительное охлаждение.

В процессе производства работающий находится под воздействием ряда неблагоприятных факторов, обусловленных производственной средой, условиями труда и окружающим микроклиматом.

Воздействие производственных факторов на человека неоднозначно. Основная часть из них естественна, закономерна и зависит от технологии производственного процесса. Полное устранение этих факторов обычно экономически нецелесообразно. Однако влияние части этих факторов на человека поддаётся снятию или ослаблению в результате изменения параметров технологического процесса или применения средств индивидуальной защиты.

Современный научно-технический уровень развития позволяет реализовать новую концепцию разработки и использования на практике энергопотребляющих средств индивидуальной защиты. Суть её заключается в необходимости создания на производствах, имеющих неблагоприятные условия труда, локальной естественной среды, все параметры которой сохраняются в определённых пределах на протяжении всего периода пребывания человека на рабочем месте [7]. Такие средства индивидуальной защиты используют в том или ином виде энергию и расходуемые компоненты, необходимые для жизнеобеспечения человека, поступающие из посторонних источников. В широкой и глобальной проблеме безопасности труда использование подобных средств индивидуальной защиты позволяет эффективно решать конкретные задачи производства.

Реализация данной концепции осуществляется с использованием в средствах индивидуальной защиты ранее не применяемых в этой области физических явлений и процессов.

Практическое применение концепции проектирования энергопотребляющих средств индивидуальной защиты рассмотрим на примере поиска возможных направлений развития и совершенствования кондиционируемой одежды.

Один из основных неблагоприятных факторов производственной среды - тепловой. Важность проблемы обеспечения нормального теплового состояния организма при работе в условиях нагревающего микроклимата предопределено сравнительно небольшим допустимым диапазоном изменения температуры тела человека. Оптимальному тепловому состоянию организма соответствует теплосодержание, равное

$$(1036,0 \div 1040,0) \times 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

и изменение его более чем на 0,4% приводит к дискомфорту и к неблагоприятным изменениям в работе всех физиологических систем человека.

Теплозащитная одежда, ранее создававшаяся, в основном была автономной, имеющей запас энергии и расходуемых компонентов, в то время как особой потребности в автономности не было. Анализ содержания задач, выполняемых работающими в условиях нагревающего микроклимата, показывает, что эти работы в основном носят плановый характер, осуществляются в пределах ограниченной площади и не требуют значитель-

ных перемещений в пространстве. Для подобных условий целесообразно создавать кондиционируемую одежду, связанную с внешними источниками гибкими коммуни-

кациями, которые позволяют подводить энергию и расходные компоненты, обеспечивающие жизнедеятельность работающего.

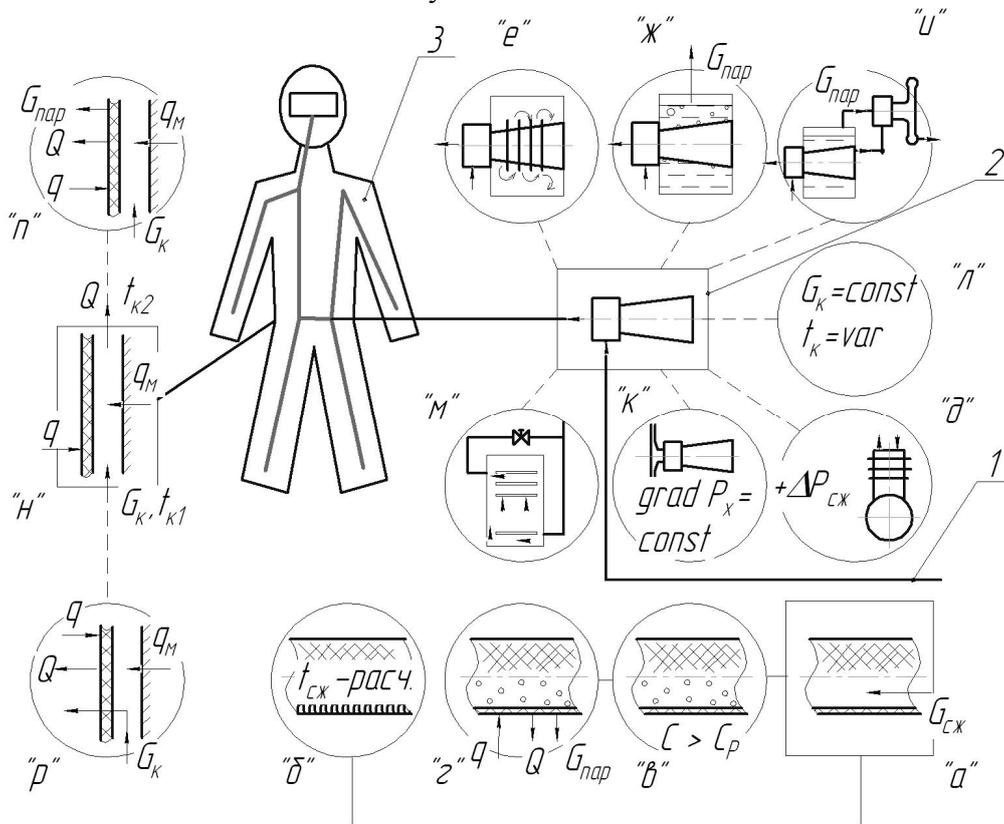


Рис. 1. Схема построения кондиционируемой одежды со шланговой подачей компонентов жизнеобеспечения

Наиболее приемлемой для жизнеобеспечения и создания благоприятных окружающих условий является воздушная среда. Во-первых, это привычная среда обитания для человека и только в ней организм может нормально функционировать в течение неограниченного периода времени. Во-вторых, в этом случае обеспечение съёма необходимого количества тепла осуществляется одновременно за счёт теплообмена и испарения влаги выделений. В-третьих, эта среда обеспечивает дыхание. В-четвёртых, воздушная среда, заполняющая внутреннее пространство под одеждой, является защитой от контакта поверхности тела человека с вредными веществами, возможно, находящимися в окружающей среде. Кроме перечисленных особенностей, воздух, обладая свойством сжимаемости, может быть эффективно использован в термодинамических процессах, в том числе и для снижения температуры локальной окружающей среды. И, наконец, самым главным преимуществом является то,

что воздух в сжатом состоянии уже содержит потенциальную энергию, необходимую для осуществления термодинамических процессов.

На рис. 1 приведена схема построения кондиционируемой одежды. Сжатый воздух, необходимый для функционирования кондиционируемой одежды, подаётся из заводской сети по гибкому шлангу 1. В процессе транспортировки он забирает тепло из окружающей среды и нагревается. Для его охлаждения целесообразнее всего использовать индивидуальный кондиционер 2 на основе вихревого эффекта энергоразделения газа, реализуемого в вихревой трубе [3]. Охлаждённый воздух с температурой $t_k = +20^\circ\text{C}$ и расходом G_k поступает в подкостюмное пространство кондиционируемой одежды, представляющей из себя теплозащитную оболочку в виде комбинезона 3, одеваемого сверху легкой хлопчатобумажной одежды.

Кондиционирование по такой схеме известно и применяется в промышленном про-

изводстве при температуре окружающей среды до $t_{oc} = +60...70^{\circ}\text{C}$. Однако в современной промышленности есть потребность в кондиционируемой одежде, позволяющей длительное время работать в окружающей среде с температурой $t_{oc} = +300...350^{\circ}\text{C}$.

В рамках действий, предусмотренных концепцией проектирования энергопотребляющих средств индивидуальной защиты, было рассмотрено несколько направлений развития и модернизации кондиционируемой одежды.

Ограничение роста температуры подводимого сжатого воздуха

Прогнозирование температуры сжатого воздуха

При подводе сжатого воздуха в кондиционируемую одежду используются гибкие дюритовые шланги с внутренним покрытием из химически нейтрального материала (рис. 1, а). Такой шланг может применяться до температуры не выше $+60...80^{\circ}\text{C}$. Его теплоизоляция нецелесообразна, т.к. наружный диаметр оказывается меньше критического диаметра теплоизоляции.

В настоящее время промышленность производит недорогие гофрированные тонкие шланги из нержавеющей стали, имеющие температуру эксплуатации до $+400^{\circ}\text{C}$.

При анализе параметров рабочих мест с повышенной температурой окружающей среды выяснилось, что большинство из них располагается на расстоянии не более 10...16м от границы начала высокотемпературной среды. Очевидно, что на некотором расстоянии температура сжатого воздуха, проходящего в подводящей магистрали, ещё не достигает температуры окружающей среды. Это следует учитывать при прогнозировании параметров кондиционирования. Разработана методика, позволяющая рассчитывать температуру сжатого воздуха перед кондиционером $t_{вых}$ в зависимости от его расхода $G_{сж}$, температуры окружающей среды t_{oc} , условий теплообмена α и длины подводящей магистрали l , проходящей через зону повышенных температур (рис. 1, б):

$$t_{вых} = f(G_{сж}, t_{oc}, \alpha, l).$$

Возможность прогнозирования темпе-

ратуры на входе в кондиционер даёт возможность увеличить верхнюю границу температуры применимости простых схем кондиционирования в условиях конкретных производств.

Ограничение температуры подводимого сжатого воздуха увеличением кажущейся теплоёмкости

В сжатый воздух в начале его транспортировки по шлангу впрыскивается некоторое количество воды (рис. 1, в). Поскольку теплоёмкость воздушно-водяной смеси (кажущейся теплоёмкости) выше теплоёмкости воздуха, температура сжатого воздуха при прочих одинаковых условиях на одинаковом удалении от начала шланга вырастает в этом случае на меньшую величину. На выходе из шланга вода отделяется от сжатого воздуха и выводится в окружающую среду.

Ограничение температуры подводимого сжатого воздуха испарением воды

Используется физическое явление энергоёмкого фазового перехода воды в пар, происходящее при постоянной температуре. На рис. 1, г приведена конструкция шланга, подводящего сжатый воздух. Оболочка шланга выполнена из гигроскопичного герметично тканного материала (аналог пожарных рукавов). В подводимый сжатый воздух распыляется некоторое количество воды [5]. На всём протяжении шланга на внутренней поверхности в результате придания вращательного движения воздушно-водяной смеси создается водяная плёнка. Вода пропитывает оболочку шланга, выходит на наружную поверхность и создаёт плёнку, удерживаемую капиллярными силами. Поступающее из внешней среды тепло испаряет воду с поверхности шланга. На место испарившейся поступает вода из водяной плёнки с внутренней поверхности шланга. Поскольку температура кипения воды на поверхности шланга не может быть выше $+100^{\circ}\text{C}$, то и температура сжатого воздуха в шланге не может превысить эту величину.

Повышение располагаемой степени расширения сжатого воздуха

В стандартных заводских сетях давле-

ние сжатого воздуха обычно не превышает $p_{сж} = 0,40...0,45$ МПа. В ряде случаев целесообразным может быть повышение давления только в сети, питающей кондиционируемую одежду (рис. 1, д). Для этого может быть использован передвижной одноступенчатый компрессор без ресивера и охлаждения сжатого воздуха после сжатия.

Повышение холодопроизводительности и температурной эффективности индивидуального кондиционера

Повышение холодопроизводительности с использованием регенеративного цикла

При массовом применении кондиционируемой одежды, например в горнодобывающей промышленности, важным показателем эффективности является техническая экономичность получения кондиционируемого воздуха. Использование (рис. 1, е) охлаждаемых вихревых труб [2] позволяет перевести работу кондиционера в более экономичный режим. Для их охлаждения может быть использован отработанный кондиционирующий воздух. Однако следует отметить, что такое кондиционирование целесообразно только при температуре окружающей среды до $t_{oc} = +35...45^{\circ}\text{C}$.

Увеличение холодопроизводительности с использованием водяного охлаждения вихревой трубы

В данной схеме (рис.1, ж) вихревая труба охлаждается водой, находящейся в стадии кипения. Температура стенки вихревой трубы при этом не может превысить температуру кипения воды. При этом вихревой кондиционер может быть переведён на экономичный режим работы с меньшим расходом сжатого воздуха за счёт увеличения доли выработки охлаждённого воздуха, идущего на кондиционирование.

Увеличение температурной эффективности с использованием водяного охлаждения вихревой трубы

В такой схеме (рис. 1, и) используется зависимость температуры кипения воды от давления. Охлаждающая вода находится под пониженным давлением (до 0,05 МПа) и кипит при более низкой температуре. Пони-

женное давление создается откачиванием водяного пара вихревым вакуум-насосом, приводимым в действие утилизированным горячим воздухом, сбрасываемым из вихревой трубы [6].

Увеличение температурной эффективности увеличением степени расширения сжатого воздуха в вихревой трубе

Некоторое увеличение степень расширения сжатого воздуха в вихревой трубе

$$\pi = \frac{P_{сж}}{P_x}, \text{ где } P_x - \text{давление на выходе из}$$

вихревой трубы, достигается утилизацией кинетической энергии выходящего холодного потока в щелевом раскруточном диффузоре (рис. 1, к). Создание методики расчёта изогradientных диффузоров [2] позволяет сделать их малогабаритными и использовать в индивидуальных кондиционерах.

Обеспечение регулирования температуры кондиционирующего воздуха при постоянном его расходе

Использование кондиционируемого воздуха для охлаждения подкостюмного пространства наиболее эффективно при обеспечении постоянных локальных течений в пространстве между теплоизолирующей оболочкой и поверхностью тела человека, что во многом достигается постоянным его расходом (рис. 1, л).

Обычно температура охлаждаемого потока в вихревой трубе регулируется изменением двух параметров – давлением перед входом в неё и долей холодного потока

$$\mu = \frac{G_x}{G_{сж}}, \text{ где } G_x - \text{расход охлажденного}$$

воздуха, $G_{сж}$ - расход сжатого воздуха.

По условиям эксплуатации такое регулирование должно быть сведено к воздействию на один орган управления. С этой целью рассмотрена взаимосвязь всех параметров, характеризующих работу вихревой трубы, выработан алгоритм регулирования и разработана конструкция регулируемых элементов.

Температуру холодного потока вихревой трубы при постоянном его расходе можно регулировать:

– изменением проходного сечения сопла

вихревой трубы с автоматическим изменением доли холодного потока;

– изменением давления перед входом в вихревую трубу с автоматическим изменением доли холодного потока;

– разделением потока воздуха на две составляющие с равными долями холодной и горячей частей и последовательным их пропорциональным смешиванием.

Наиболее экономичным является первый способ, но он технически наиболее сложен.

Расширение температурных границ использования вихревых кондиционеров за пределами их технических возможностей

В ряде случаев нецелесообразно усложнять конструкцию вихревого кондиционера и подводящей магистрали для обеспечения требуемой температурной эффективности, обеспечивающей получение кондиционирующего воздуха с температурой не выше $t_k \leq +25^\circ\text{C}$. Недостающее снижение температуры возможно получить доохлаждением тающим льдом, пропуская часть холодного воздуха через контейнер, находящийся между индивидуальным кондиционером и потребителем (рис. 1, м) [7].

Эффективное использование кондиционирующего воздуха

Использование испарительного охлаждения

В традиционных схемах кондиционирования воздух подводится в подкостюмное пространство в большое количество точек, одновременно обтекает внутреннюю поверхность теплозащитной оболочки и поверхность тела человека, забирая метаболическое тепло q_m и тепло, поступающее из окружающей среды за счёт теплопроводности теплозащитной оболочки q . Количество потребного кондиционирующего воздуха G_k пропорционально тепловому потоку через теплоизолирующую оболочку, а следовательно, пропорционально и перепаду температуры между внешней и внутренней поверхностями (рис. 1, н). В отдельных случаях можно подавать на внешнюю поверхность теплоизолирующей оболочки воду для её последующего испарения (рис. 1, п). Незави-

симо от интенсивности тепловых потоков, поступающих из окружающей среды, температура на внешней поверхности в этом случае не превысит $+100^\circ\text{C}$. Это означает, что тепловой поток через оболочку становится независимым от температуры окружающей среды.

Активная теплозащита

В предыдущей схеме кондиционирующий воздух выводится из подкостюмного пространства, имея температуру не выше $+28^\circ\text{C}$, иначе не происходит отбор метаболического тепла. Учитывая, что поступающий на кондиционирование воздух не может иметь температуру ниже $+20^\circ\text{C}$ (иначе возможно местное переохлаждение поверхности тела человека), диапазон подогрева должен составлять всего 8°C , т.е. теплоаккумулирующая способность воздуха в данном случае используется неэффективно. В активной схеме теплозащиты (рис. 1, р) кондиционирующий воздух после снятия метаболического тепла в каждой точке поверхности тела человека сразу же удаляется из подкостюмного пространства через теплозащитную оболочку, представляющую из себя волокнистую структуру с определённым гидравлическим сопротивлением [4]. Воздух, двигаясь навстречу тепловому потоку (перпендикулярно к поверхности теплозащитной оболочки), забирает тепло, нагревается и вытекает во внешнюю среду, имея её температуру. Блокирование внешнего теплопритока достигается при условии

$$G_{ka} = \frac{\lambda}{\delta \cdot c_p},$$

где G_{ka} - расход кондиционирующего воздуха при активной теплозащите;

λ - коэффициент теплопроводности материала;

δ - толщина теплоизоляции;

c_p - теплоёмкость воздуха.

Расход кондиционирующего воздуха становится постоянным и не зависит от температуры окружающей среды.

Такая схема кондиционирования значительно более экономична по сравнению со схемой простого вентилирования пододёжного пространства:

$$\frac{G_k}{G_{кэ}} = \frac{t_{oc} - t_{к2}}{t_{к2} - t_{к1}},$$

где G_k - расход кондиционирующего воздуха при вентилировании;

$t_{к2}$ - температура кондиционирующего воздуха перед выходом из кондиционируемой одежды;

$t_{к1}$ - температура кондиционирующего воздуха на входе в кондиционируемую одежду.

Данную схему теплозащиты целесообразно применять, начиная с температуры окружающей среды $t_{oc} = +80 \dots 100^\circ\text{C}$.

Библиографический список

1. Бирюк, В.В. Экспериментальное исследование охлаждаемой вихревой трубы [Текст] / В.В. Бирюк, В.Е. Вилякин // Вихревой эффект и его применение в технике: тр. II Всесоюз. науч.-техн. конф. - Куйбышев: КуАИ, 1976. - С.90-96.
2. Волов, В.Т. Термодинамика и теплообмен сильнозакрученных сверхзвуковых потоков газа в энергетических установках и аппаратах [Текст] / В.Т. Волов. - Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2006. - 316 с.
3. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его

применение [Текст] / А.П. Меркулов. - Самара: Оптима, 1997. - 346 с.

4. Савченко, Н.В. Динамическая теплоизоляция в кондиционируемой одежде нового поколения [Текст] / Н.В. Савченко // Безопасность транспортных систем: сб. науч. тр. - Самара, 2002. - С. 115-117.

5. Савченко, Н.В. Кондиционирование при утилизации судов на заводах в южных регионах [Текст] / Н.В. Савченко // Изв. Самар. науч. центра РАН. Спец. вып.: III всерос. науч.-практ. конф. «Процессы, технологии, оборудование и опыт переработки отходов и вторичного сырья» - Самара, 2008. - С.63-66.

6. Савченко, Н.В. Проектирование гибридной схемы кондиционирования [Текст] / Н.В. Савченко // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: сб. науч. тр. - Самара, 2002. - С. 362-364.

7. Савченко, Н.В. Энергопотребляющие средства индивидуальной защиты для работы в промышленном нагревающем микроклимате. [Текст] / Н.В. Савченко. - Самара: Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2011. - 160с.

INCREASE IN THERMAL EFFICIENCY OF THE CONDITIONED CLOTHING

© 2012 N. V. Savchenko

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

In the paper, based on the example of development and improvement of the conditioned clothing, is examined the possibility of designing of this local zone in the productions, with the high temperature.

Microclimate with the high temperature, individual conditioning, the conditioned clothing, vortex effect, heat shielding, phase transition, the evaporative cooling.

Информация об авторах

Савченко Нелли Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: исследование и разработка энергопотребляющих средств индивидуальной защиты для работ в высокотемпературных условиях.

Savchenko Nelly Vyacheslavovna, Candidate of Technics, Docent, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area or research: study and the development of the emerging-consume instruments of individual protection, utilized with the work under the higt-temperature conditions.