

УДК 532.527; 614.895

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА “ЛЕД – ВОДА” В КОМБИНИРОВАННОМ ИНДИВИДУАЛЬНОМ КОНДИЦИОНИРОВАНИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

© 2011 Н.В. Савченко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 29.03.2011

Кондиционируемая одежда со шланговой подачей сжатого воздуха с последующим охлаждением в вихревом кондиционере позволяет работать продолжительное время при температуре окружающей среды до $+ 80^{\circ}\text{C}$. При более высокой температуре используются вихревые кондиционеры со сложной схемой рабочего процесса охлаждения воздуха. Существует так же охлаждаемая одежда, использующая свойство энергоемкого фазового перехода “лед – вода”. Имея некоторый запас льда в такой одежде можно работать продолжительное время при температуре окружающей среды до $+ 80^{\circ}\text{C}$ и кратковременно – при более высокой температуре. В настоящей статье анализируется возможность и схема организации рабочего процесса кондиционирования с предварительным охлаждением воздуха в вихревой трубе и его доохлаждением тающим льдом. Такая схема при приемлемых дополнительной массе и времени работы позволяет существенно повысить температуру применимости. Ключевые слова: нагревающий микроклимат, индивидуальное кондиционирование, вихревой эффект, тающий лед, динамическая теплоизоляция, температура применимости.

В энергоемких отраслях промышленности постоянно растет концентрация и интенсификация производства. Количество произведенной продукции увеличивается как в целом, так и приходиться на единицу площади (объема) производственных помещений. Одновременно увеличиваются удельные валовые выделения тепла, газов, шума и других проявлений формирующих вредную или опасную среду вокруг технологического оборудования. Среди них наиболее неблагоприятное проявление – выделение тепла, создающее нагревающий производственный микроклимат, характеризующийся тем или иным уровнем температуры окружающей среды.

Вместе с тем, совершенствование технологий, увеличение производительности труда, использование автоматических систем контроля и управления уменьшают концентрацию рабочих мест с неблагоприятными температурными условиями. Появляются технологии, предусматривающие эпизодическое присутствие людей в неблагоприятных условиях. Кроме того, при дефиците производственных мощностей, целесообразно увеличение доли технического обслуживания и ремонта оборудования без его остановки или без полного расхолаживания. В связи с этим становится целесообразным обеспечение комфортного микроклимата непосредственно в локальных рабочих зонах.

Одним из способов обеспечения локального микроклимата является индивидуальное конди-

ционирование, в частности с использованием кондиционируемой одежды со шланговой подачей сжатого воздуха. В процессе транспортировки воздух неизбежно нагревается, а требуемая для кондиционирования температура создается индивидуальным кондиционером на основе вихревой трубы непосредственно у потребителя. Такие способы кондиционирования нашли определенное применение и беспрепятственно используются в условиях нагревающего микроклимата с температурой до $+ 60^{\circ}\text{C}$ [2]. Для повышения температуры применимости свыше указанной величины следует решить три задачи:

- увеличить температурную эффективность вихревого кондиционера;
- найти способ ограничения подогрева сжатого воздуха в подводящей магистрали;
- ограничить рост потребного количества кондиционирующего воздуха.

В рамках решения поставленных задач созданы технологии [2, 3], позволяющие разрабатывать и производить кондиционируемую одежду для работы в широком диапазоне температуры окружающей среды.

Вместе с тем возможны и иные варианты решения для конкретных условий применения. В настоящей статье рассматривается один из вариантов такого решения первой из перечисленных выше задач.

Использование вихревого эффекта энергоделения газа позволило создать несколько схем индивидуальных кондиционеров для различных уровней температуры окружающей среды:

Савченко Нелли Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент кафедры “Инженерная графика”.
Тел. (846) 267-45-11

- кондиционер с делящей вихревой трубой – до температуры окружающей среды + 70 – 80 °С ;
- кондиционер, выполненный по гибридной одноступенчатой и двухступенчатой схемам – до температуры окружающей среды + 110 °С и + 130 °С соответственно.

Дальнейшее совершенствование рабочего процесса в самом кондиционере становится нецелесообразным.

В отечественной и зарубежной практике в средствах индивидуальной защиты, применяемой в условиях нагревающего микроклимата для нормализации температуры под одеждой работающего, есть опыт использования тающего льда. Обладая существенно энергоемким фазовым переходом тающий лед способен забирать значительное количество тепла, поступающего из окружающей среды через одежду и забрать метаболическое тепло, вырабатываемое человеком. Практическая реализация этого способа охлаждения заключается в обкладывании теплозащитной одежды плоскими контейнерами со льдом. В более сложных схемах тающий лед может быть использован для охлаждения циркулирующего жидкого теплоносителя в изолирующей одежде с вмонтированной разветвленной системой тонких гибких трубок.

Основным недостатком охлаждения льдом являются невозможность создания кондиционирующей одежды приемлемой массы для реально необходимой продолжительности работы. Существенным недостатком также является отсутствие условий удаления пота испарением, т.е. блокируется естественный процесс отведения значительной части метаболического тепла.

Использование тающего льда позволило создать кондиционируемую одежду для работы в течение приемлемого времени при температуре окружающей среды только до + 80 °С и кратковременно при более высокой температуре.

Мы разработали и исследовали схему индивидуального кондиционирования, основанную на совместном использовании вихревого эффекта энергоразделения газа, реализованного в индивидуальном кондиционере с делящей вихревой трубой и свойства энергоемкого фазового перехода таяния льда. В такой схеме лед уже не является основным охладителем, а используется для доохлаждения кондиционирующего воздуха, поступающего из вихревой трубы, до температуры кондиционирования + 25 °С .

На рис. 1 приведена условная схема расположения работающего внутри объекта с нагревающим микроклиматом и график изменения температуры сжатого воздуха по длине подводящего шланга.

Работающий, одетый в кондиционирующую одежду, находится внутри производственного помещения 1 с температурой окружающей среды t_{oc} . По гибкой магистрали (шлангу) 2 к индивидуальному кондиционеру работающего подводится сжатый воздух, имеющий на входе в шланг температуру t_{ex} . Проходя по шлангу на участке длиной l он в результате теплообмена с окружающей средой нагревается и с температурой $t_{вых}$ поступает в вихревой кондиционер 3, размещенный на поверхности кондиционируемой одежды 5.

Температура сжатого воздуха на выходе из шланга $t_{вых}$ зависит от большего количества параметров.

$$t_{вых} = f(G_{сж}; C_p; t_{oc}; t_{ex}; S; \alpha; l),$$

где t_{oc} – температура окружающей среды;

t_{ex} – температура сжатого воздуха на входе в шланг;

$G_{сж}$ – расход сжатого воздуха;

C_p – теплоемкость воздуха;

α – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности шланга;

S – площадь единицы длины наружной поверхности шланга;

l – длина шланга, находящегося внутри помещения с нагревающим микроклиматом.

График изменения температуры сжатого воздуха по длине шланга для различной температуры окружающей среды рассчитывается по методике [3] с учетом особенностей теплообмена в реальных условиях (приведен на рис. 1).

На рис. 2 приведена схема кондиционирования с доохлаждением воздуха тающим льдом и график изменения температуры в составляющих элементах. Сжатый воздух с расходом $G_{сж}$, давлением $P_{сж}$ и температурой $t_{вых}$, поступающий из шланга 2 в кондиционер 3, разделяется в вихревой трубе на холодный (с расходом G_x и температурой t_x) и горячий (с расходом G_2 и температурой t_2) потоки. Соотношение расходов характеризуется долей холодного потока

$$\mu = \frac{G_x}{G_{сж}} [1].$$

Холодная составляющая возду-

ха используется для кондиционирования, а горячая выводится в окружающую среду.

Температура холодного потока рассчитывается по обобщенным характеристикам вихревой трубы [1]. На рис. 3 приведена зависимость температуры холодного потока от температуры используемого сжатого воздуха при располагаемой степени расширения $\pi = 4$, что соответствует давлению $P_{сж} = 0,4 \text{ МПа}$. Зависимость приведена для режима $\mu = 0,25$ на котором достигается максимальное снижение температуры холодного потока.

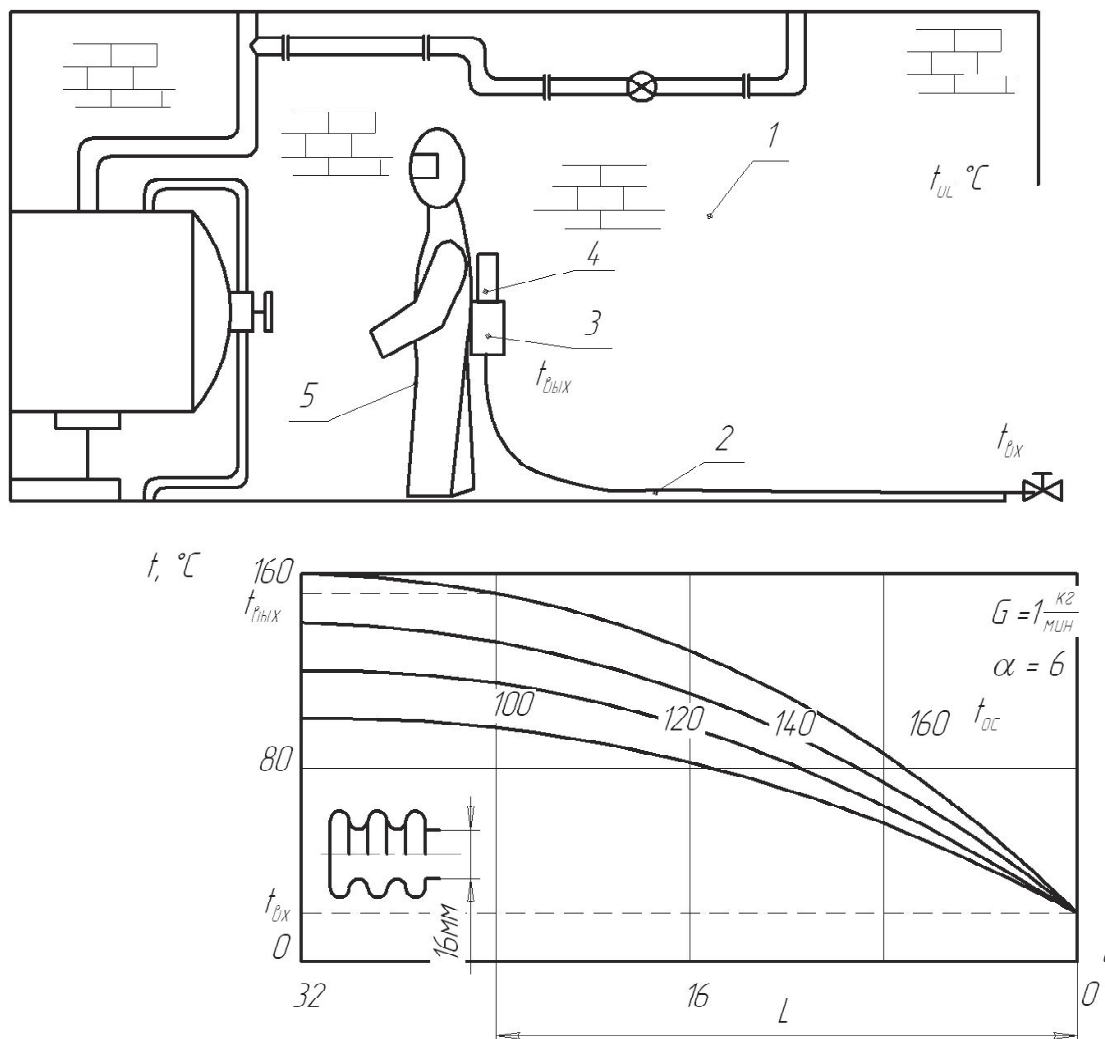


Рис. 1. Условная схема расположения работающего внутри объекта с нагревающим микроклиматом и график изменения температуры сжатого воздуха по длине подводящего шланга

Начиная с некоторой температуры подведенного по шлангу сжатого воздуха температура охлажденного воздуха становится недостаточной для осуществления кондиционирования. Исходя из условия осуществления тепломассообмена в подкостюмном пространстве без нежелательного воздействия на организм человека, температура кондиционирующего воздуха должна быть равна $t_k = +25 (\pm 2)^\circ\text{C}$. Для обеспечения этой температуры во всем диапазоне температуры входящего воздуха свыше $+80^\circ\text{C}$ необходимо доохлаждение холодного потока на величину $\Delta t = t_x - t_k$. Доохлаждение происходит в теплообменнике 4 (рис. 2), представляющем из себя термооболочку 6, заполненную капсулами со льдом 7. Поддержание постоянной температуры t_k обеспечивается изменением соотношения расхода воздуха, проходящего через теплообменник, и идущего в обход его и последующим их смешиванием. Регулирование ведется вентилем 8 в ручном или автоматическом режимах. Далее кондиционирующий воздух поступает в систему трубопроводов 9 с перфорированными стенками,

разводящую его по пододежному пространству кондиционируемой одежды 5. Протекая в зазоре между телом человека 10 и теплоизолирующей оболочкой 11, поток кондиционирующего воздуха забирает метаболическое тепло, образующееся в результате жизнедеятельности организма человека. Отвод тепла от поверхности тела осуществляется испарением пота и конвективным теплообменом. Температура воздуха при этом может измениться на некоторую величину в зависимости от его расхода, влажности, а также количества выделяемого пота. В общем виде в расчетах принимаем повышение температуры на 5°C . Термозащитная оболочка представляет из себя многослойную конструкцию, состоящую из волокнистого теплозащитного слоя толщиной до 10 мм с малым гидравлическим сопротивлением, тонкой внутренней подкладки с более высоким гидравлическим сопротивлением и газопроницаемого наружного слоя, защищающего от механических повреждений. Пористая многослойная конструкция позволяет отводить кондиционирующий воздух из зазора равномерно по всей по-

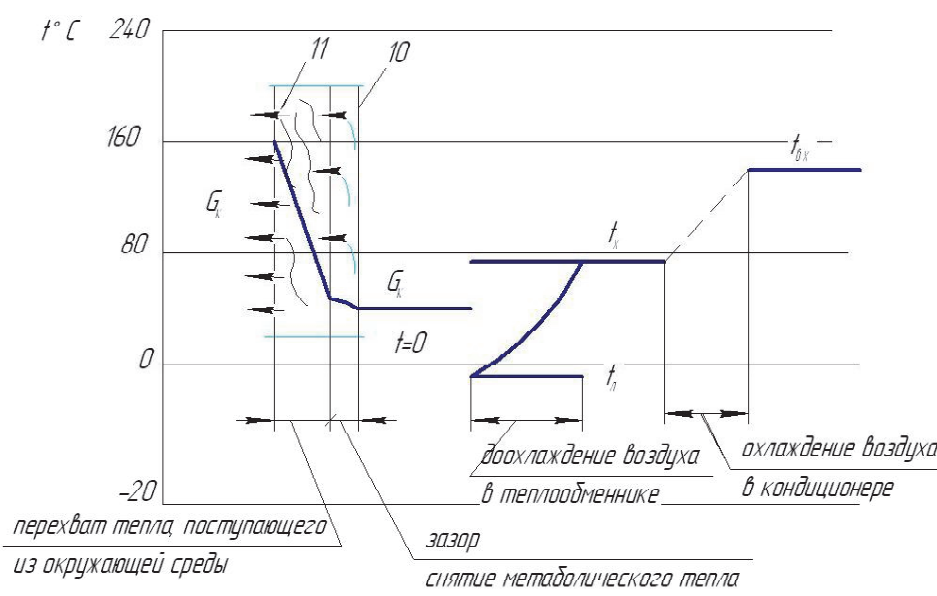
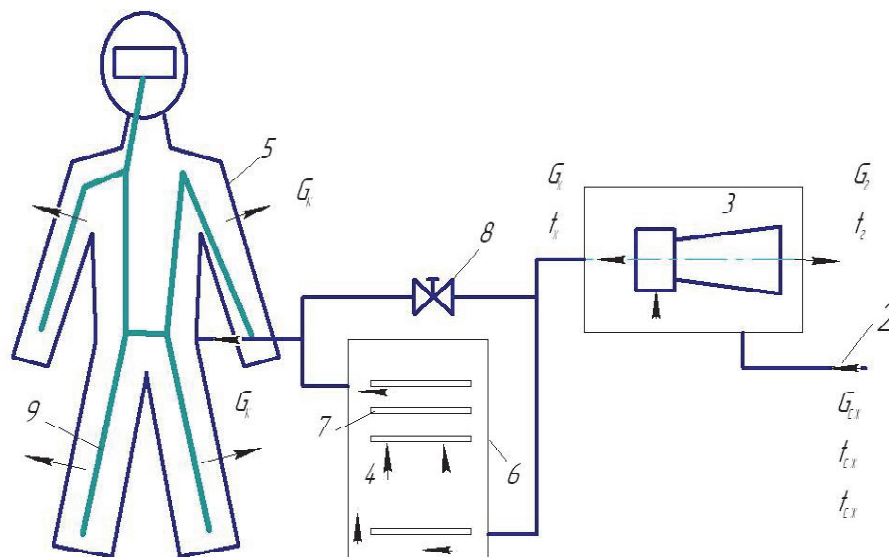


Рис. 2. Схема индивидуального кондиционирования с доохлаждением и график изменения температуры воздуха в составляющих элементах

верхности. Отводимый воздух движется перпендикулярно к поверхности оболочки навстречу тепловому потоку извне, захватывает поступаю-

щее тепло и выносит его в окружающую среду. Такой процесс динамической теплоизоляции позволяет полностью использовать теплоаккумулирующие способности кондиционирующего воздуха и заметно снизить его потребление. Минимальный расход воздуха при допущении, что температура поверхностей оболочки равна с внешней (t_{oc}) и внутренней ($t_k + 5^\circ C$) сторон определяется по формуле [2]

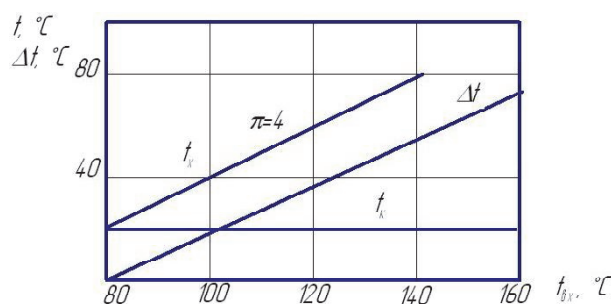


Рис. 3. Зависимость температуры холодного потока t_x и температуры необходимого доохлаждения сжатого воздуха Δt от температуры входящего воздуха

$$G_k = \frac{\lambda}{\delta C_p},$$

где λ - коэффициент теплопроводности волокнистой теплоизоляции;

δd - толщина теплозащитной оболочки.

Поскольку расход кондиционирующего воздуха направлен перпендикулярно к поверхнос-

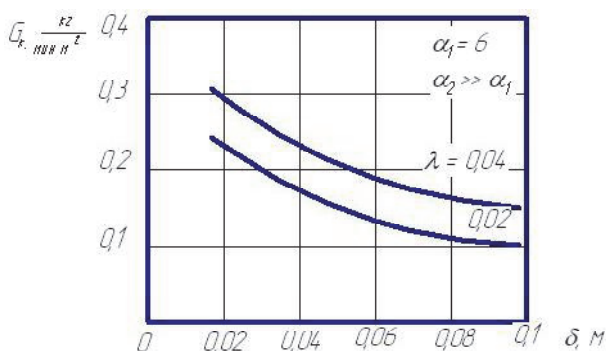


Рис. 4. Минимальный расход кондиционирующего воздуха через динамическую теплоизоляцию, блокирующий теплоприток из внешней среды

ти теплоизолирующей оболочки, то допускаем, что на внутренней ее поверхности пограничный слой практически отсутствует, а на внешней наоборот имеет повышенную толщину. Тогда $\alpha_2 \gg \alpha_1$ и величина минимального расхода будет иметь вид

$$G_k = \frac{1}{C_p \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} \right)},$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи к наружной и с внутренней поверхностями оболочки.

На рис. 4 приведена зависимость минимального расхода кондиционирующего воздуха от толщины и коэффициента теплопроводности теплоизоляции, при котором блокируется теплоприток из внешней среды. Исходя из данной зависимости расход воздуха через оболочку кондиционируемой одежды толщиной $\delta = 0,01$, коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,02$ и площадью наружной поверхности $S = 3 \text{ м}^2$ составит $G_k = 0,3 \text{ кг}^2/\text{мин}$ или $0,25 \text{ м}^3/\text{мин}$. Такого расхода достаточно и для отвода метаболического тепла. Кроме того, по Государственному стандарту для изолирующих костюмов со шланговой подачей воздуха расход не может быть меньше $0,25 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Для доохлаждения кондиционирующего воздуха с такой температурой t_x до t_k потребуется запас льда в теплообменнике, обеспечивающий рассчитываемое время пребывания рабочего в нагревающем микроклимате. Количество льда определяется исходя из теплового баланса

$$G_l = \frac{G_k C_p (t_x - t_k) \tau}{C_{вод} (t_k - t_r) + r - C_l (t_l - t_r)},$$

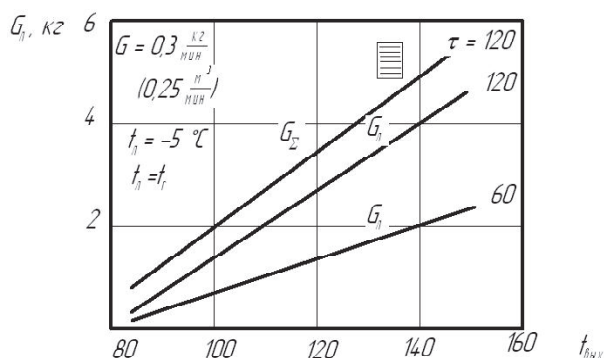


Рис. 5. Необходимое количество льда в зависимости от температуры окружающей среды и времени пребывания

где τ – время пребывания, мин.;

$C_{вод}, C_l$ – теплоемкость воды, льда;

t_l, t_r – температура льда, таяния льда;

r – величина фазового перехода “лед – вода”.

Температура таяния льда $t_l = 0^\circ \text{C}$ при использовании воды без добавок и $t_l < 0^\circ \text{C}$ при использовании соляного раствора.

На рис. 5 приведено количество льда, необходимое для пребывания в течении $\tau = 60$ и 120 мин при различной температуре окружающей среды. Здесь же с учетом массы конструкции показана суммарная масса теплообменника G_Σ .

Расчеты проведены только до времени 120 мин , т.к. более продолжительное пребывание на рабочем месте без отдыха нецелесообразно.

ВЫВОДЫ

1. Использование в схеме индивидуального кондиционирования с вихревой трубой доохлаждения кондиционирующего воздуха отбором тепла на фазовый переход таяния льда позволяет заметно повысить температуру применимости кондиционируемой одежды для работы в нагревающем микроклимате.

2. Использование в кондиционируемой одежде с комбинированной схемой охлаждения и доохлаждения воздуха динамической теплоизоляции позволяет обеспечить необходимое время пребывания в неблагоприятных температурных условиях, используя при этом приемлемое по массе количество льда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение. Самара: Оптима, 1997. 346 с.
2. Савченко Н.В. Сравнительный анализ схем теплозащиты в кондиционируемой одежде / Труды V международной конференции “Энергосберегающие технологии в промышленности, безопасность технологических процессов”. М.: МИСиС, 2010. С. 100-106.
3. Савченко Н.В. Определение эксплуатационной тем-

пературы применимости кондиционируемой одежды с вихревыми кондиционерами различных схем / Труды V международной конференции "Энергосберегающие технологии в промышленности, безопасность технологических процессов". М.: МИСиС, 2010. С. 95-99.

4. *Городинский С.М.* Средства индивидуальной защиты для работ с радиоактивными веществами. М.: Атомиздат, 1973. 296 с.
5. *Кащеев В.С., Кузнец Е.И.* Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека в условиях высоких температур. С.: Медицина, 1986. 256 с.

USE OF AN ENERGY CONTENT OF PHASE TRANSITION "ICE-WATER" IN THE COMBINED INDIVIDUAL CONDITIONING OF AT ELEVATED TEMPERATURES ENVIRONMENT

© 2011 N.V. Savchenko

Samara State Aerospace University

Conditioned by the compressed air, which is cooled in the vortex conditioner, makes it possible to work long time at an ambient temperature to $+ 80^{\circ}C$. The conditioners with the compound circuit of the organization of the cooling process are used at a higher temperature for cooling air. There is a clothing, with uses a property of energy-consuming phase transition "ice-water". In this clothing with a certain reserve of ice it is possible to work small time. In the article is analyzed the possibility of the joint use of cooling of air in the conditioner and the additional coolings of air by ice

The keywords: Microclimate, individual conditioning, vortex effect, melting ice, dynamic heat insulation, the temperature of the applicability.