

УДК 532.527; 614.895

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОБОЛОЧКИ КОНДИЦИОНИРУЕМОЙ ОДЕЖДЫ

© 2012 Н.В. Савченко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Поступила в редакцию 15.12.2012

Рассмотрена возможность использования кондиционируемой одежды при температуре окружающей среды, превышающей термостойкость конструкционных материалов изолирующей оболочки. Приведены расчетные данные режимов повышенного расхода кондиционирующего воздуха, приводящих к снижению температуры на внешней поверхности кондиционируемой одежды.

Ключевые слова: кондиционируемая одежда, нагревающий микроклимат, динамическая теплоизоляция, термостойкость

В промышленном производстве широко используется нагревающее оборудование различного назначения. В металлургической промышленности – это плавильные и нагревающие печи, в энергетике – топочные агрегаты и паровые котлы, в химической промышленности – реакционные установки, в промышленном производстве строительных материалов – стекловаренные, обжиговые печи и сушильные установки. В процессе эксплуатации нагревающего оборудования некоторые операции по обслуживанию и ремонту целесообразно проводить без его расхолаживания или с неполным расхолаживанием. При этом для проведения работ на горячем оборудовании необходима кондиционируемая одежда, которая позволила бы рабочему находиться в условиях высокой температуры длительное время. С теплофизической точки зрения создание кондиционируемой одежды для работ в условиях высокой температуры окружающей среды возможно при использовании специальных технологий, в частности индивидуальных кондиционеров, в основе работы которых лежит эффект энергоразделения газа (вихревой эффект) [1, 4], и динамической (активной) теплоизоляции [3]. Существует практика построения кондиционируемой одежды и по иным схемам [1], вплоть до использования жидкого воздуха в качестве источника охлаждения. Независимо от схем построения, в кондиционируемой одежде обязательно присутствует теплоизолирующая оболочка. И чем выше температура применения кондиционируемой одежды, тем совершеннее должен быть материал теплоизоляции. Естественные материалы из органического волокна позволяют создать теплоизоляцию с приемлемыми свойствами для применения при температуре +100-120°C, а полимерные – до температуры окружающей производственной среды +180-200°C. При более высокой температуре используются теплоизолирующие волокнистые материалы, выполненные на основе стекла, керамики, базальта, однако эти материалы, как правило, обладают худшими теплоизоляционными и механическими свойствами и высокой удельной плотностью.

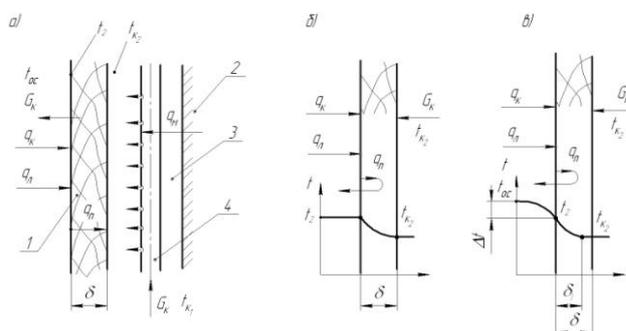


Рис. 1. а) конструкция изолирующей оболочки с динамической теплоизоляцией; б) схема теплообмена при $t_2=t_{oc}$; в) схема теплообмена при повышенном расходе кондиционирующего воздуха G_k

Кондиционируемая одежда с оболочкой, изготовленной из волокна, позволяет осуществлять работу в нагреваемом микроклимате, потребляя при этом минимальное количество кондиционирующего воздуха. На рис. 1 приведена конструктивная схема изолирующей оболочки с динамической теплоизоляцией, состоящей из волокнистой теплоизолирующей оболочки 1, закрывающей поверхность объекта кондиционирования 2. Между ними в зазоре 3 располагается система перфорированных шлангов 4, по которым подводится кондиционирующий воздух с расходом G_k и температурой t_{k1} . Кондиционирующий воздух забирает от кондиционируемого объекта метаболическое тепло, поступающее в виде теплового потока с интенсивностью q_m , подогревается до температуры t_{k2} и отводится равномерно в окружающую среду через всю площадь поверхности волокнистой теплоизоляции. Сущность динамической теплоизоляции заключается в том, что кондиционирующий воздух движется навстречу тепловому потоку, поступающему из окружающей среды.

Во всех предыдущих исследованиях [3] было принято допущение, что внешняя поверхность теплоизолирующей оболочки имеет температуру окружающей среды $t_2=t_{oc}$. В этом случае для полного блокирования теплового потока, поступающего из окружающей среды через теплоизоляцию,

Савченко Нелли Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент

необходима продувка кондиционирующего воздуха с расходом $G_k = \lambda / (\delta c)$, где λ – коэффициент теплопроводности; δ – толщина теплоизоляции; $c = 992$ Дж/кг·К – теплоемкость воздуха. Схема тепломассообмена для данного случая приведена на рис. 1б. Тепловое состояние внешней поверхности теплоизолирующей оболочки формируется в результате теплопередачи к ней из окружающей среды теплом конвекцией (тепловой поток интенсивностью q_k), теплопередачи излучением (тепловой поток интенсивностью q_l) и оттока тепла через изолирующую оболочку за счет теплопроводности (тепловой поток интенсивностью q_n). Тепловой поток через изолирующую оболочку перехватывается кондиционирующим воздухом и отводится в окружающую среду.

Принятие допущения равенства температуры внешней поверхности оболочки температуре окружающей среды ($t_2 = t_{oc}$) несколько увеличивает температуру поверхности оболочки t_2 по сравнению с реально существующей, но не влияет на величину основного расчетного параметра – расхода кондиционирующего воздуха и позволяет не определять интенсивность лучистого q_l и конвективного q_k тепловых потоков. Кроме того, использование кондиционируемой одежды на объектах, находящихся в стадии расхоложивания, при температуре окружающей среды ниже, чем допустимая температура применения конструкционных материалов оболочки кондиционируемой одежды не требует знания температуры поверхности изолирующей оболочки.

В современном промышленном производстве намечается тенденция в потребности кондиционируемой одежды для применения при все более высоких температурах. Однако при этом сдерживающим фактором использования такой одежды становится теплостойкость материала теплоизоляции. Вместе с тем следует учитывать, что работа в окружающей среде с крайне высокой температурой в условиях одного промышленного предприятия не носит массовый характер. Следовательно, эксплуатационная экономичность кондиционируемой одежды не является определяющей в общей экономической эффективности ее применения. В таком случае целесообразным может быть увеличение температуры применимости кондиционируемой одежды за счет снижения эксплуатационной экономичности и перехода на режим с повышенным расходом кондиционирующего воздуха, т.е. с заведомо неполным использованием его теплоаккумулирующей способности. За счет увеличения расхода кондиционирующего воздуха температура внешнего слоя изолирующей оболочки становится ниже температуры окружающей среды. Это позволяет эксплуатировать теплоизолирующий материал в среде с температурой превышающей его допустимую температуру использования. Схема тепломассообмена приведена на рис. 1в. Обозначение параметров, определяющих тепломассообмен одинаково с рис. 1б. Тепловой баланс на установившемся режиме будет иметь вид:

$$\begin{aligned} q_{\Sigma} - q_n &= 0 \text{ или} \\ q_l + q_k - q_n &= 0. \end{aligned}$$

Интенсивность лучистого теплового потока

$$q_l = \varepsilon_{np} C \left[\left(\frac{273 + t_{oc}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_2}{100} \right)^4 \right],$$

где $C = 5,7$ Вт/(м²·К⁴) – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Приведенная степень черноты

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = 0,735$$

при $\varepsilon_1 = 0,97$ – степень черноты охватываемой поверхности (такую степень черноты имеет большинство футеровочных материалов нагревающих печей); при $\varepsilon_2 = 0,75$ – степень черноты охватываемой поверхности (такую степень черноты можно достичь специальной обработкой волокнистого материала внешнего слоя кондиционируемой одежды).

Интенсивность конвективного теплового потока

$$q_k = \alpha (t_{oc} - t_2),$$

где $\alpha = 2$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха (окружающей среды) к поверхности теплоизолирующей оболочки.

Принимаем коэффициент теплоотдачи α ниже уровня, характерного при свободном движении среды, т.к. при примененном способе охлаждения у оболочки, в приграничном слое, создается перемещение воздуха от поверхности в окружающую среду. Интенсивность теплового потока за счет теплопроводности

$$q_n = \frac{\lambda}{\delta} (t_2 - t_{k_2}),$$

где δ_c – толщина активного слоя теплоизоляции.

Тепловой поток q_n направлен против направления движения кондиционирующего воздуха. Тепловой баланс через наружную поверхность теплоизоляции

$$Q_n = Q_G \text{ или} \\ \frac{\lambda}{\delta_i} (t_2 - t_{k_2}) S \tau = G_k c (t_2 - t_{k_2}) S \tau,$$

где Q_n – тепло, поступающее за счет теплопроводности; Q_G – тепло отводимое с кондиционирующим воздухом; S – площадь поверхности; τ – время.

Для полного перехвата теплового потока необходимо поступление кондиционирующего воздуха с расходом $G_k = \lambda / (\delta_i c)$. На рис. 2 приведены расчетные графики величин тепловых потоков в зависимости от температуры окружающей среды и ряда значений фиксированной температуры

поверхности изолирующей оболочки. Для определения разности температуры окружающей среды и поверхности, зависящей от режима охлаждения, примем минимальный и максимальный расходы кондиционирующего воздуха G_k . Минимальный расход соответствует некоторому соотношению величин λ и δ , выбранных из конструктивных соображений. Так, при $\lambda=0,06$ Вт/(м²К), $\delta=0,01$ м, $G_k=0,006$ кг/(м²сек). Максимальный расход кондиционирующего воздуха определяется возможностью его рационального получения в системе кондиционирования и возможностью организации движения в подкостюмном пространстве. Из конструктивных соображений его расход нецелесообразно увеличивать свыше значения $G_k=0,01$ кг/(м²сек). При таком расходе кондиционирующего воздуха толщина активного слоя теплоизоляции будет составлять $\delta_i=\lambda/(G_k c)$.

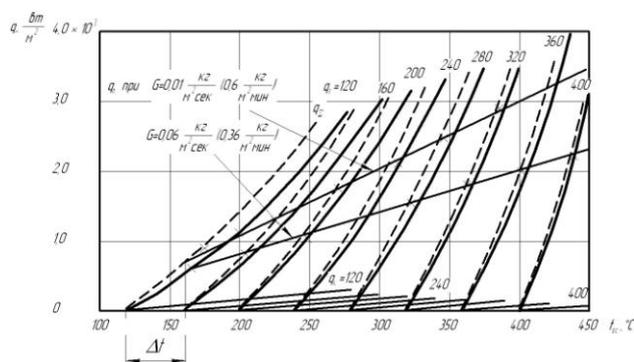


Рис. 2. Интенсивность тепловых потоков, подходящих к наружной поверхности теплоизоляции (q_k , q_n , q_Σ), в зависимости от ее температуры и температуры окружающей среды, и интенсивность теплового потока, проходящего через наружную поверхность (q_n), в зависимости от ее температуры и расхода кондиционирующего воздуха

Изменение графика температуры внутри теплоизоляции для случая теплообмена с повышенным расходом кондиционирующего воздуха конструктивно позволяет уменьшить толщину

теплоизоляции и использовать теплоизоляцию с более высоким коэффициентом теплопроводности, сохраняя при этом соотношение $G_k c = \lambda / \delta_i$. Отношение величин λ / δ_i определит и интенсивность отводимого теплового потока $q_n = \frac{\lambda}{\delta_i} (t_2 - t_1)$

На рис. 2 приведен график изменения интенсивности теплового потока, проходящего через изолирующую оболочку за счет теплопроводности $q_n = f(G_k, t_2)$, от расхода кондиционирующего воздуха и температуры поверхности оболочки, наложенный на графики изменения суммарного теплового потока, идущего к поверхности оболочки $q_\Sigma = f(t_{oc}, t_2)$ в зависимости от температуры окружающей среды и температуры наружного слоя оболочки. Точка пересечения графиков тепловых потоков q_n и q_Σ соответствует температуре окружающей среды, при которой наступает равенство подводимого и отводимого тепловых потоков ($q_n = q_\Sigma$) при определенной температуре поверхности t_2 .

Выводы: кондиционируемую одежду с изолирующей оболочкой, имеющую термостойкость конструкционного материала, определяемую температурой t_T можно эксплуатировать в окружающей среде с температурой окружающей среды $t_{oc} = t_T + \Delta t$, где Δt – разница температур внешней поверхности теплоизолирующей оболочки и окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Кащеев, В.С.* Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека в условиях высоких температур / *В.С. Кащеев, Е.И. Кузнец.* – М.: Медицина, 1986, 256 с.
2. *Меркулов, А.П.* Вихревой эффект и его применение. – Самара: «Оптима», 1997, 346 с.
3. *Савченко, Н.В.* Динамическая теплоизоляция в кондиционируемой одежде нового поколения / *Безопасность транспортных систем: сб. науч. тр.* – Самара, 2002. С. 75-79.
4. *Савченко, Н.В.* Энергопотребляющие средства индивидуальной защиты для работы в промышленном нагреваемом микроклимате. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2011. 160 с.

DETERMINATION THE OPERATIONAL TEMPERATURE OF THE CONDITIONED CLOTHING INSULATING SHELL

© 2012 N.V. Savchenko

Samara State Aerospace University

The possibility of using the conditioned clothing at an ambient temperature exceeding the heat resistance of construction materials insulating shell is examined. Are given calculation data of regimes of the increased flow rate of conditioning air, which lead to reduction in the temperature on the external surface of the conditioned clothing.

Key words: *conditioned clothing, microclimate, dynamic heat insulation, heat resistance*