

УДК 687.17.03

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ
И РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ
ПОДОДЕЖНОГО ПРОСТРАНСТВА***

М.В. РОДИЧЕВА, А.В. АБРАМОВ

(Орловский государственный технический университет)

Основной проблемой использования современных видов защитной одежды, выполненных из воздухо-влажонепроницаемых материалов, является эвакуация пододежной влаги. Для таких видов одежды характерно интенсивное насыщение продуктами жизнедеятельности внутренних слоев одежды, а также их вторичное намочение за счет влаги, конденсируемой на внутренней поверхности ткани.

Для удаления продуктов метаболизма и пота, выделяющихся с поверхности тела человека, необходимо обеспечивать регулирующую вентиляцию воздуха под одеждой. Проблема может быть решена за счет организованного забора воздуха из окружающей среды с помощью конструктивных элементов и способов обеспечения максимальной интенсивности воздухообмена с окружающей средой.

* Научный консультант – проф., докт. техн. наук Е.Я. Сурженко (СПГУТД).

Интенсификация воздухообмена в пододежном пространстве возможна за счет уменьшения гидравлического сопротивления воздушной прослойки. Прослойки, полученные путем увеличения припусков на свободное облегание, легко деформируются, создавая дополнительное гидравлическое сопротивление. Стабилизация воздушной прослойки в пространстве и времени способствует его уменьшению и достигается за счет введения в конструкцию одежды жестких каркасных элементов. Для беспрепятственного забора воздуха в прослойку и вывода его из пододежного пространства необходимо предусматривать в конструкции одежды ряд воздухозаборных элементов, в качестве которых могут использоваться устройства в виде усеченного конуса, оказывающие наименьшее гидравлическое сопротивление воздуху при входе в пододежное пространство [1]. Таким образом, проектируемая система организации и регулирования естественной вентиляции пододежного пространства содержит стабилизированные воздушные прослойки и воздухозаборные элементы, определенным образом ориентированные относительно друг друга.

Целью проводимых исследований являлся выбор таких геометрических параметров вентиляционных элементов и воздушной прослойки, которые обеспечивали бы максимальную интенсификацию процессов конвективного теплообмена в пододежном пространстве. Оценка эффективности работы системы организации и регулирования вентиляции пододежного пространства проводилась на образцах, выполненных в виде тканевых оболочек. При этом оболочки выполнялись из воздухо-непроницаемого материала, исключающего проникновение воздуха из окружающей среды через материал. Вентиляционные элементы представляли собой прямоугольные отверстия и конические воздухозаборные устройства, количество которых в течение эксперимента изменялось согласно схеме на рис. 1 – схемы расположения вентиляционных элементов в пакетах одежды: а) прямоугольные вентиляционные отверстия на высотах I, II, III, IV; б) коническое воздухозаборное устройство – клапан № 2 (на высоте II); в) конические воздухозаборные устройства клапаны №2 и №4 (на высоте II и IV); г) конические воздухозаборные устройства – клапаны №2, № 3, №4 (на высоте II, III, IV).

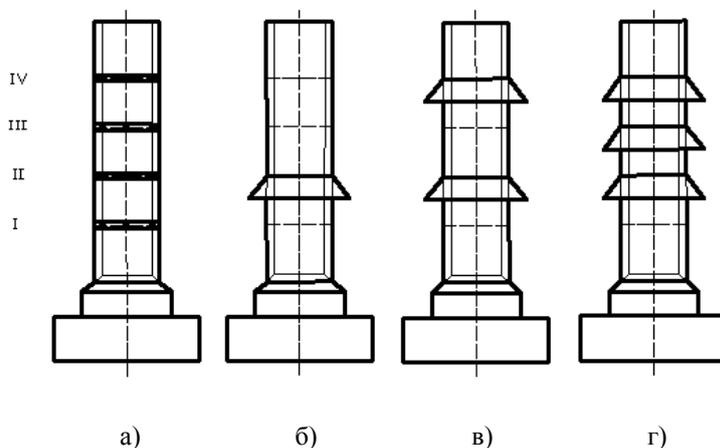


Рис. 1

В качестве физической модели тела человека использовался биотехнический эмулятор процессов теплообмена (БЭТ), описанный в работе [2].

Теоретическая база исследований основана на составлении уравнения теплового

баланса воздушной прослойки в следующем виде:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{изл}} + Q_{\text{конв}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общее количество тепла, под-

веденное в рабочий объем эмулятора, которое рассчитывается по соотношению

$$Q_{\text{общ}} = \frac{U^2 t}{Tr}, \quad (2)$$

где U – напряжение нагревательного элемента БЭТ, с; t – время подачи энергии на нагревательный элемент, с; T – общее время цикла, с; r – сопротивление нагревательного элемента, Ом.

$Q_{\text{изл}}$ – тепло, отданное с рабочей поверхности эмулятора посредством излучения, рассчитываемое по соотношению

$$Q_{\text{изл}} = \sigma \varepsilon F \left(\left[\frac{T_{\text{тр}}}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{\text{мат}}}{100} \right]^4 \right), \quad (3)$$

где $\sigma = 0,9$ – приведенная степень черноты воздушной прослойки; F – площадь рабочей поверхности эмулятора, м^2 ; $\varepsilon = 5,67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана, $\frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)}$; $T_{\text{тр}}$ – температура рабочей поверхности эмулятора, К; $T_{\text{мат}}$ – температура поверхности исследуемого пакета, К.

$Q_{\text{конв}}$ – тепло, отданное с рабочей поверхности эмулятора посредством конвекции, рассчитывается по соотношению

$$Q_{\text{конв}} = Sv\rho c \Delta t, \quad (4)$$

где S – площадь измерительного кольца, м^2 ; v – скорость движения воздуха, измеренная в кольце, м/с; ρ – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – теплоемкость воздуха, ; $\Delta t = T_{\text{вых}} - T_{\text{окр}}$ – разность температур в измерительном кольце и окружающей среде, $^{\circ}\text{C}$.

Принцип определения интенсивности конвективного теплообмена состоит в измерении скорости и температуры воздуха в переходном кольце, а также температуры воздуха вдали от рабочей поверхности БЭТ. В условиях естественной конвекции воздух, участвующий в теплообмене, на-

греваясь от рабочей поверхности, поднимается вверх, проходя через переходное кольцо, в котором установлен первичный преобразователь скорости и температуры воздушного потока.

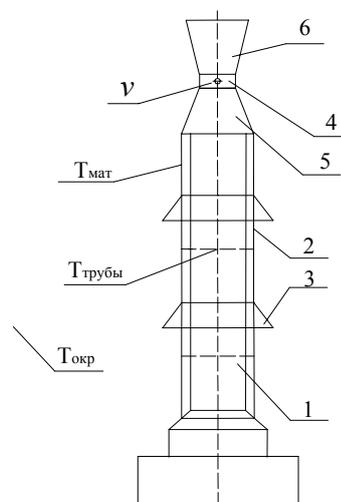


Рис. 2

Основными измеряемыми величинами являются: скорость (v) и температура ($T_{\text{вых}}$) воздуха в прослойке, контролируемая в измерительном кольце 4 (рис. 2 – схема экспериментальных исследований элементов системы организации и регулирования естественной вентиляции подожного пространства: 1 – рабочая поверхность эмулятора; 2 – исследуемый образец; 3 – воздухозаборные элементы; 4 – переходное кольцо измерительного узла; 5 – конфузор измерительного узла; 6 – диффузор измерительного узла); температуры окружающей среды ($T_{\text{окр}}$), рабочей поверхности эмулятора ($T_{\text{тр}}$), поверхности исследуемого пакета ($T_{\text{мат}}$).

Температура и скорость воздуха в измерительном кольце контролировалась с помощью датчиков термоанемометра-термометра по четырехточечной схеме, представленной на рис. 3 – схема измерений скорости и температуры воздуха в воздушной прослойке: а) схема измерительного датчика (1 – датчик скорости, 2 – датчик температуры); б) схема измерения (I – исследуемый пакет, II – верхний торец БЭТ, III – точки замеров).

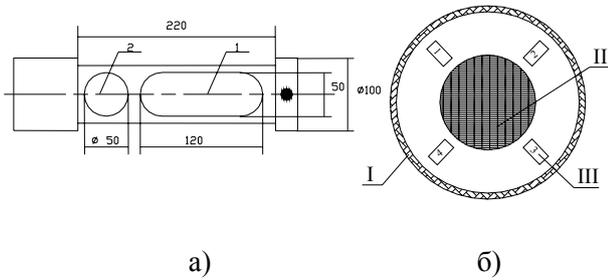


Рис. 3

Измерения температур окружающей среды, рабочей поверхности эмулятора и поверхности исследуемого пакета проводились бесконтактным методом с помощью оптического пирометра фирмы MIKRON. Напряжение на нагревательном элементе, время работы нагревательного элемента и продолжительность цикла измерялись с помощью автоматизированной системы, описанной в работе [3].

Исследуемыми факторами, влияющими на интенсивность теплоотдачи с рабочей поверхности тепловой модели человека в условиях естественной конвекции, являлись следующие геометрические параметры элементов системы организации и регулирования естественной вентиляции поддежного пространства: длина образу-

ющей ($l_{обр}$) и угол конусности ($\alpha_{кон}$) воздухозаборного элемента, обуславливающие величину площади проходного сечения ($S_{сеч}$); гидравлический диаметр прослойки (D_r); количество и расположение воздухозаборных элементов по длине исследуемого образца (рис. 1 и 4).

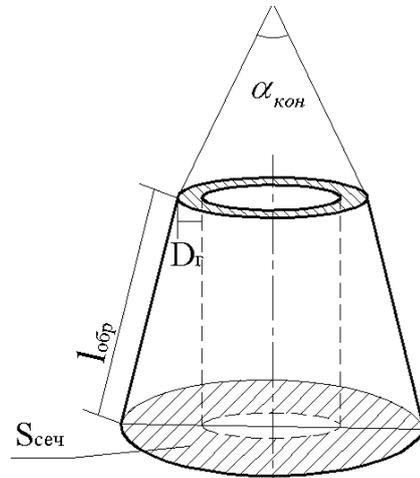


Рис. 4

Площадь проходного сечения найдена из следующих соотношений:

$$S_{сеч} = \pi \sin \left(\frac{180^\circ - \alpha_{кон}}{360} \right) \left((D_r + l_0)^2 - D_r^2 \right), \quad (5)$$

где l_0 – высота вершины канала, м, рассчитываемая по соотношению:

$$l_0 = \left(\sin \frac{\alpha\pi}{360} \right) \left(l_{обр} \cos \frac{\alpha\pi}{360} + y - a \right), \quad (6)$$

где y – текущее значение длины, м; $a=1$ – коэффициент формы.

Результаты исследования угла конусности и длины образующей через величину проходного сечения представлены на рис. 5 – величина теплоотдачи с рабочей поверхности эмулятора ($Q_{общ}$) для различного значения угла конусности воздухозаборного элемента (1 – 30°; 2 – 45°; 3 – 60°).

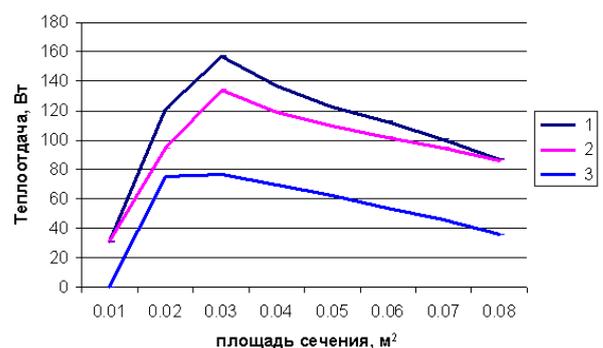


Рис. 5

Как следует из полученных результатов, геометрическими параметрами воздухозаборных элементов, обеспечивающими максимальную эффективность вентиляции, являются угол конусности $\alpha_{кон}=30^\circ$ и дли-

на образующей $\ell_{обр} = 0,12$ м.

Результаты исследования влияния толщины воздушной прослойки и количества воздухозаборных элементов на уровень вентилируемости, определяемой через гидравлический диаметр (D_r), иллюстрируется рис. 6 – динамика изменения суммарной мощности, расходуемой на теплообмен (1 – закрытая прослойка; 2 – вентиляционные отверстия; 3 – один вентиляционный элемент (в.э.); 4 – два в.э.; 5 – три в.э.; 6 – четыре в.э.).

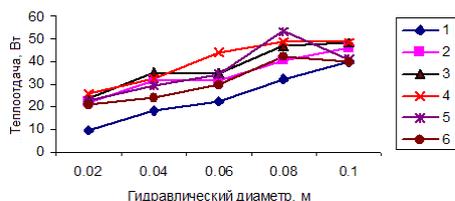


Рис. 6

Как видно из приведенных результатов, увеличение гидравлического диаметра прослойки приводит к повышению уровня вентилируемости, что связано с уменьшением влияния сил вязкости пристеночных слоев на течение воздуха. Увеличение теплоотдачи наблюдается до значения гидравлического диаметра $D_r=0,08$ м. Дальнейшее увеличение гидравлического диаметра ведет к снижению теплоотдачи. Наиболее эффективным является использование двух воздухозаборных элементов, расположенных на расстоянии 50 см друг от друга. При этом наибольшее увеличение теплоотдачи достигается за счет роста конвективной составляющей, в то время как величина лучистой составляющей растет незначительно (рис. 7 – сравнение лучистой и конвективной составляющих суммарной мощности при различных вариантах системы организации и регулирования вентиляции пододежного пространства).

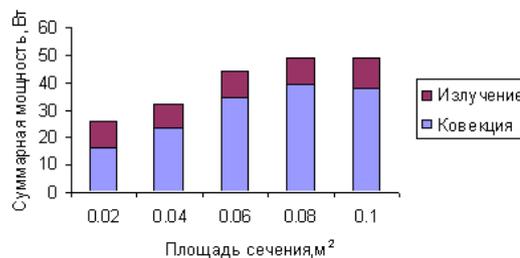


Рис. 7

ВЫВОДЫ

1. Разработана система организации и регулирования естественной вентиляции пододежного пространства, состоящая из воздушной прослойки с гидравлическим диаметром $D_r=0,08$ м и двух воздухозаборных элементов в виде усеченного конуса с углом конусности $\alpha_{кон}=30^\circ$ и длиной образующей $\ell_{обр}=0,12$ м.

2. Предложенная система позволяет получать увеличение значения скоростей движения воздуха в пододежном пространстве в 2...2,5 раза по сравнению с существующими аналогами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уваров А.В., Родичева М.В. Разработка спецодежды для пчеловода // Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. – 2004, №2(25). С.10...11.
2. Уваров А.В. Новый прибор для определения параметров теплообмена в системе "Человек-одежда-окружающая среда" // Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. – 2004, №1(24). С.25...27.
3. Идельчик И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов: Подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983.

Рекомендована кафедрой конструирования и технологии швейных изделий. Поступила 25.12.06.