

УДК 644.37:68

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ В КАБИНЕ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*А.Л. МИСУН; канд. физ.-мат. наук, доц. И.М. МОРОЗОВА;  
д-р техн. наук, проф. Л.В. МИСУН; А.А. ПИНЧУК; Н.В. САМКЕВИЧ  
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

*Рассматривается проблема обеспечения безопасности производственной среды в кабине мобильной сельскохозяйственной техники. Разработан методический подход для обоснования микроклиматических условий производственной среды и теплозащитных свойств одежды оператора данного вида техники. Представлен расчет термического сопротивления теплозащитной одежды оператора, предложено техническое устройство для поддержания требуемой влажности воздуха в кабине мобильной сельскохозяйственной техники.*

**Ключевые слова:** микроклимат, безопасность, производственная среда, кабина сельскохозяйственной техники, теплообмен человека, теплозащитная одежда.

**Введение.** Физиологическая норма реакции тела человека позволяет организму адаптироваться к охлаждающей или нагревающей температуре воздуха, микроклимату. В случае же возникающего перегрева или переохлаждения тела, даже если это и не опасно для жизни человека, снижается трудоспособность. При расчетах теплоощущений состояния человека широко используется понятие «тепловой баланс», при котором отмечается равенство между теплообразованием и теплоотдачей в организме. Если изменяются теплофизические условия производственной среды, например, в кабине мобильной сельскохозяйственной техники (МСХТ), то при различной деятельности оператора МСХТ система терморегуляции организма приводит в соответствие процессы теплообразования и теплоотдачи, сохраняя при этом температуру тела на одном постоянном уровне ( $36,6 \pm 0,5$ ) °С. Но возможности системы терморегулирования организма ограничены: при длительном и постоянном снижении температуры окружающей среды система терморегуляции не в состоянии обеспечить человеку комфортное самочувствие и наступает дискомфорт.

**Основная часть.** Для создания комфортных микроклиматических условий производственной среды должны учитываться особенности теплообмена человека, выполняющего физическую работу. Температура кожи в любой точки тела является результатом действия ряда факторов, которые определяют передачу тепла от внутренних частей организма и легкость его отдачи в окружающую среду. Эти факторы в значительной мере отличаются в разных частях тела. Во время выполнения физической нагрузки наблюдается интенсивное теплообразование, происходящее при сокращении работающих мышц. Так, умеренная двигательная активность увеличивает теплообразование в 2 раза, а тяжелая работа – в 4...5 раз, и более существенно возрастает роль физической терморегуляции, увеличивается и изменяется соотношение способов теплоотдачи [1].

Для расчета теплового баланса тела человека наиболее часто используется выражение, включающее такие показатели, как средневзвешенная температура тела человека ( $t_k$ ), теплоотдача тела испарением ( $Q_{и}$ ) и показатель теплоощущения ( $\tau$ ). Средневзвешенная температура тела в имеющем практическое значение диапазоне физических нагрузок работника – от состояния покоя (теплопродукция  $Q_{ч0} = 100$  Вт) до тяжелой работы (энергозатраты  $Q_{ч} = 300$  Вт) – рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$t_k = 30 + 3,6 \cdot e^{-0,003(Q_{ч} - Q_{ч0})} \cdot 51g(\tau + 1). \quad (1)$$

Для определения средневзвешенной температуры ( $t_k$ ) на коже испытуемого отмечаются точки, в которых электрическим термометром замеряется этот показатель. При этом температура окружающей среды ( $t_{окр}$ ) находится в пределах 19...23 °С. Поочередно измеряется температура тела на семи стандартных участках – стопе, ноге (голень или бедро), груди, спине, кисти, плече, голове. Каждая из измеренных величин умножается на число, соответствующее доле площади данной части от общей поверхности тела [3]:

$$t_k = 0,07t_{стопы} + 0,32t_{ноги} + 0,18t_{груди} + 0,17t_{спины} + 0,14t_{плеча} + 0,05t_{кисти} + 0,007t_{головы}. \quad (2)$$

Затем испытуемый выполняет интенсивную физическую работу, по завершении которой в тех же точках и той же последовательности измеряется температура тела. Сравниваются результаты замеров средневзвешенной температуры до и после выполнения физической нагрузки, проводятся прогнозные

расчеты (формула (1)). Для условий охлаждающего микроклимата ( $\tau < 0$ ) средневзвешенная температура тела человека должна быть в пределах 28...30 °С.

Испарение влаги ( $PВ$ ) с поверхности тела (формула (3)) – один из главных способов теплоотдачи:

$$PВ = PВ_{и} - PВ_{к.п} + PВ_{л}, \quad (3)$$

где  $PВ_{и} = 1,48Q_{и}$  – потери влаги организмом из-за теплоотдачи вследствие ее испарения, г/ч;  $PВ_{к.п}$  – потери влаги организмом из-за теплоотдачи неощутимой кожной перспирацией в результате диффузии водяных паров, г/ч;  $PВ_{л}$  – потери влаги организмом вследствие теплоотдачи испарением влаги в легких, г/ч.

В условиях теплового комфорта с поверхности кожи в течение одного часа испаряется 40...50 г влаги [3]. Выделение пота в количестве, превышающем 150 г/ч, сопряжено с тепловым дискомфортом [3], который возникает и при давлении пара в пододежном пространстве, превышающем 20 ГПа.

В условиях нагревающего микроклимата производственной среды ( $\tau \geq 0$ ) для расчета потерь влаги организмом используется следующая зависимость [2]:

$$PВ = [PВ_0 - 0,65 \cdot (Q_{ч} - Q_{ч0})] \cdot 1,75^{\tau}, \quad (4)$$

где  $PВ_0$  – значение потерь влаги организмом человека (принимается равным 39 г/ч при  $Q_{ч} - Q_{ч0}$ ) и  $\tau = 0$ ).

Поддержание требуемого уровня микроклимата производственной среды зависит от оптимального сочетания параметров её тепловой защиты и системы кондиционирования воздуха (вентиляции, отопления), а также изменяющихся условий эксплуатации МСХТ (ориентации и скорости движения МСХТ по полю), потока солнечной радиации, поглощаемой телом человека. Кроме этого, оператор МСХТ во время рабочей смены периодически покидает кабину и занимается технологическими регулировками, устранением эксплуатационных отказов и т.п., то есть энергозатраты его не постоянны. Поэтому с учетом климатических условий выполнения работы правильно подобранная теплозащитная одежда должна способствовать сохранению здоровья оператора МСХТ и повышению его работоспособности, а также соответствовать следующим *основным гигиеническим требованиям*:

- обеспечивать оптимальный пододежный микроклимат, способствуя тем самым тепловому комфорту оператора МСХТ;
- не затруднять его дыхание, кровообращение и движение;
- не смещать и не сдавливать внутренние органы, опорно-двигательный аппарат;
- быть достаточно прочной, легко очищаться от внешних и внутренних загрязнений;
- не содержать выделяющихся в производственную среду токсичных химических примесей – отсутствие физических и химических свойств, неблагоприятно влияющих на кожу и организм в целом;
- иметь сравнительно небольшую массу (до 8...10% массы тела человека).

При расчете теплозащитных свойств специальной одежды учитывают особенности теплообмена работника, выполняющего физическую работу, поэтому значения энергозатрат, дефицита теплоты, средневзвешенной температуры тела принимаются с учетом тяжести выполняемой работы. Теплопроводность ткани одежды, характеризующая её тепловое сопротивление ( $Q_{м.р.}$ ), рассчитывается с учетом энергии, затрачиваемой оператором МСХТ на механическую работу:

$$Q_{м.р.} = (Q_{эт} - Q_0) \cdot \eta, \quad (5)$$

где  $Q_{эт}$  – общие энергозатраты, Вт;  $Q_0$  – энергозатраты на основной обмен в организме человека, Вт;  $\eta$  – термический коэффициент полезного действия одежды.

В качестве единицы теплозащитной способности ткани (снижения плотности теплового потока) принята величина «кло» – единица теплоизоляционной характеристики одежды, соответствующая 0,18 °С·м<sup>2</sup>/Вт. Одна единица «кло» обеспечивает состояние теплового комфорта, если теплообразование спокойно сидящего человека составляет примерно 58 Вт/м<sup>2</sup>, а окружающий микроклимат характеризуется температурой воздуха, равной 21 °С, относительной влажностью 50% и скоростью движения воздуха 0,1 м/с [3].

Для обоснования теплозащитных свойств одежды оператора МСХТ необходимо определить потери теплоты на испарение влаги ( $Q_{исп.}$ ) с поверхности тела и верхних дыхательных путей:

$$Q_{исп.} = 0,2[(Q_{эт} + D/\tau_{н.пр.} - Q_{м.р.})] = 0,2[(Q_{эт} + D/\tau_{н.пр.}) - (Q_{эт} - Q_0) \cdot \eta], \quad (6)$$

радиационно-конвективные потери ( $Q_{р.к.}$ ):

$$Q_{р.к.} = (Q_{эт} + D/\tau_{н.пр.}) - Q_{исп.} - Q_{дых.} - Q_{м.р.} \quad (7)$$

Здесь  $D$  – дефицит теплоты в организме, Дж;  $\tau_{н.пр.}$  – время непрерывного пребывания оператора МСХТ в заданных условиях, ч;  $Q_{дых.}$  – потери теплоты на нагрев вдыхаемого воздуха ( $Q_{дых.}$ ) в зависимости от тем-

пературы производственной среды (рисунок 1), а также плотность теплового потока на единицу поверхности тела человека ( $q$ );

$$q = Q_{p.k.}/S. \quad (8)$$

Средневзвешенная температура тела человека для теплоощущения «комфортно» находится по формуле [3]:

$$t_{к.т.} = 36,07 - 0,035Q_{эТ}/S. \quad (9)$$

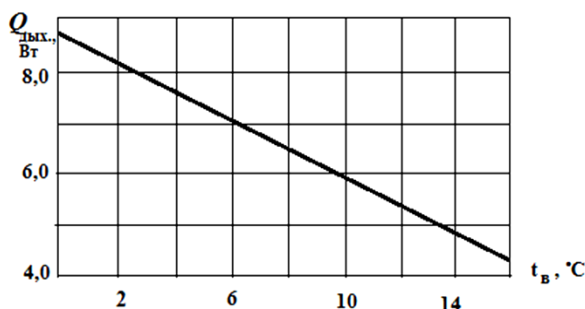


Рисунок 1. – Зависимость потерь теплоты на нагрев вдыхаемого воздуха ( $Q_{\text{дых.}}$ ) от температуры производственной среды ( $t_{в}$ )

Зная плотность теплового потока, а также значения температур соответственно для ощущения «комфортно» и производственной среды, определяется суммарное термическое сопротивление одежды ( $R_{\Sigma}$ )

$$R_{\Sigma} = (t_{к.т.} - t_{в})/q \quad (10)$$

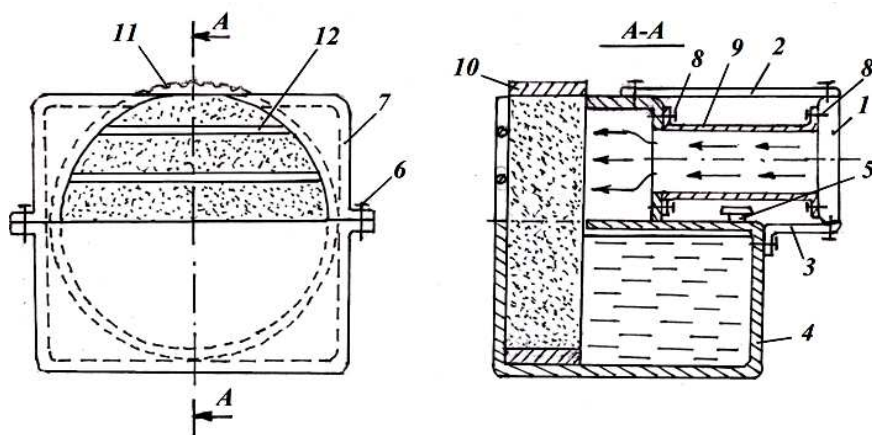
и снижение её теплового сопротивления ( $C$ ) в соответствии со скоростью потока воздуха ( $V$ ) и воздухопроницаемостью ( $ВП$ ) материалов верха одежды [3]:

$$C = (0,07 \cdot ВП + 2)V. \quad (11)$$

Уточнение термического сопротивления одежды ( $R_{y}$ ) проводится по следующей зависимости:

$$R_{y} = R_{\Sigma}/C. \quad (12)$$

Как один из вариантов технического решения для обеспечения требуемого микроклимата производственной среды (в кабине МСХТ), в частности влажности воздуха, предлагается устройство (рисунок 2).



1 – дефлектор; 2, 3 – крепления; 4, 7 – нижняя и верхняя стенки корпуса; 5 – крышка горловины; 6, 8 – винты; 9 – патрубок; 10 – полый цилиндр; 11 – рифление

Рисунок 2. – Устройство для увлажнения воздуха производственной среды

Принцип работы рассматриваемого устройства заключается в том, что из дефлектора в патрубок с помощью штатной системы вентиляции в кабину МСХТ подается теплый воздух. Он проходит через

увлажненную раствором душицы или эфирных масел хвой пористую верхнюю половину внутренней полости прямого полого цилиндра. Поворачивая цилиндр вокруг оси симметрии, можно оперативно поддерживать требуемую степень увлажнения воздуха производственной среды. При этом эфирные масла хвой или душицы, которые наполняют воздух внутри кабины мельчайшими частицами (аэрозолями), оказывают благотворное влияние на организм оператора МСХТ [4], позволяя тем самым снять усталость и повысить работоспособность.

**Заключение.** На основании результатов проведенного исследования разработан методический подход для обоснования микроклиматических условий производственной среды с учетом потери влаги организмом человека из-за теплоотдачи вследствие ее испарения, диффузии водяных паров, а также потери влаги организмом вследствие теплоотдачи испарением влаги в легких человека.

Приведен расчет термического сопротивления теплозащитной одежды оператора МСХТ, предложено техническое устройство для поддержания требуемой влажности воздуха в кабине МСХТ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : практикум : в двух частях / Л.В. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2009. – Ч. 1 : Физиология человека. – 128 с.
2. Михайлов, М.В. Методика расчета теплового баланса человека в помещении типа кабин / М.В. Михайлов // Гигиена и санитария. – 1986. – № 2. – С. 49–50.
3. Мисун, Л.В. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : практикум : в двух частях / Л.В. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2010. – Ч. 2 : Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности. – 132 с.
4. Кабина транспортного средства : пат. ВУ 20533 / Л.В. Мисун, А.Л. Мисун, Ю.В. Агейчик, В.А. Агейчик, А.Н. Гурина. – Опубл. 30.10.2016.

*Поступила 17.05.2018*

#### SECURITY OF THE PRODUCTION ENVIRONMENT IN THE COCKPIT OF THE MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY

*A. MISUN, I. MOROZOVA, L. MISUN, A. PINCHUK, N. SAMKEVICH*

*The problem of ensuring the safety of the production environment in the cabin of mobile agricultural machinery is considered. The methodical approach for substantiation of microclimatic conditions of the production environment and heat-protective properties of clothes of the operator of this type of equipment is developed. The calculation of thermal resistance of thermal protective clothing of the operator and the technical device to maintain the required humidity in the cabin of mobile agricultural machinery.*

**Keywords:** *microclimate, safety, production environment, cabin of agricultural machinery, human heat exchange, heat-shielding clothing.*