

УДК 614.895.5

В. М. Медгаус, начальник отдела
О. В. Папазова, старший научный сотрудник
Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного
дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» МЧС
ДНР
г. Донецк

НЕОБХОДИМОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ

Постановка проблемы. Работы, выполняемые спасателями при ликвидации аварий, чрезвычайных ситуаций и их последствий, связаны со значительным физическим и нервно-эмоциональным напряжением, обусловленным опасностью ведения работы в экстремальных условиях, поиском и эвакуацией пострадавших, ответственностью за принятие правильных и своевременных решений. В такой ситуации большое значение в организме человека имеют регуляторные системы, поддерживающие физиологическое состояние на должном уровне.

Анализ последних достижений. По результатам исследований и оценки микроклиматических условий в шахте предложен комплексный интегральный показатель Термоиндекс (TI в баллах) [1], разработанный на базе теплофизических закономерностей и характеризующий тепловое воздействие окружающей среды на организм человека. Термоиндекс выражается следующей зависимостью:

$$TI = (\Phi_C + \Phi_R + \Phi_{EM}) / m, \quad (1)$$

где Φ_C – теплообмен конвекцией, Вт/м²;

Φ_R – теплообмен излучением, Вт/м²;

Φ_{EM} – теплообмен за счет испарения или конденсации влаги на поверхности тела человека, Вт/м²;

m – параметр преобразования, Вт/м².

Входящие в формулу (1) тепловые потоки выражаются зависимостями

$$\begin{aligned} \Phi_C &= h_c (t_k - t_c) / (1 + 0,155 h_c M) \\ \Phi_R &= 4,23 \cdot 10^{-8} ((t_k + 273)^4 - (t_c + 273)^4) / (1 + 0,85 M) \\ \Phi_{EM} &= 11 \cdot 10^{-3} h_c (P_k - P_c) / (1 + 0,143 h_c M), \end{aligned} \quad (2)$$

где h_c – коэффициент теплообмена конвекцией, Вт/(м² · К);

t_k – средневзвешенная температура кожи человека, °С;

t_c – температура воздуха по сухому термометру, °С;

M – коэффициент теплоизоляции одежды, КЛО;

v – скорость движения воздуха, м/с;

P_k – парциальное давление водяного пара над поверхностью кожи, Па;

P_c – парциальное давление водяного пара в окружающем воздухе, Па.

Следовательно, Термоиндекс характеризует тепловой поток, отводящийся от 1 м² поверхности тела человека в окружающую среду или подводящийся к ней из окружающей среды. Для удобства восприятия значение Термоиндекса разделено на $m = 10$ Вт/м² (в этом случае Термоиндекс в реальном диапазоне микроклимата шахт выражается двузначным числом). При этом Термоиндекс выражается не в Вт/м², а в безразмерных величинах (баллах).

На базе разработанной математической модели составлена программа TERMOINDEX для расчета значений TI , в которую вводят следующие величины: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха. В качестве постоянных величин приняты средневзвешенная температура кожи, равная 33 °С, и коэффициент теплоизоляции, надетой на горнорабочего одежды, равный 0,25 КЛО (0,04 м²·К/Вт).

Цель работы. Изучение экстремальных микроклиматических условий работы спасателей и возможность повышения их тепловой устойчивости.

Материалы исследования. По разработанной программе проведены исследования по определению Термоиндекса [2]. Для тяжелой и очень тяжелой работы горнорабочих и членов вспомогательных горноспасательных команд шахт (ВГК) приняты значения 450 Вт и 550 Вт, соответственно.

Предельные значения Термоиндекса при выполнении тяжелой и очень тяжелой работы по сравнению с работой средней тяжести (17 баллов) увеличиваются примерно на 22 % и 36 %, а при использовании респиратора на – 14 %, 33 % и 45 %, соответственно; при допустимых значениях температуры 23 °С и 24 °С с влажностью воздуха 100 % и скоростью движения 0,15 м/с и 0,25 м/с значения Термоиндекса ниже 17 баллов, что может привести к перегреванию горнорабочих.

При расчете Термоиндекса с использованием математической модели [1] энергозатрат горнорабочих при выполнении работ различной тяжести, одной из постоянных величин принята средневзвешенная температура кожи, равная 33 °С. Однако такое тепловое состояние организма человека является условным в некотором диапазоне при выполнении физической работы. Диапазон относительной стабильности средневзвешенной температуры кожи предполагает способность человека работать длительное

время с максимальной производительностью, обусловленной физическим и нервно-психологическим состоянием организма, т.е. при стабильном тепловом состоянии организма, не требующем напряжения физиологических функций. Реакция на сложные микроклиматические воздействия не может быть сведена к воздействию одних температурных факторов, так как любое раздражение температурного анализатора сопровождается общим эмоциональным возбуждением, что в свою очередь влияет на регуляторные физиологические системы организма.

В результате многочисленных исследований были предложены формулы для определения средневзвешенной температуры кожи в зависимости от энергозатрат человека, отличающиеся друг от друга особенно в диапазоне больших физических нагрузок. При энергозатратах более 100 Вт оптимальная средневзвешенная температура кожи находится в диапазоне от 31,5 до 34,0 °С. При этом верхняя граница энергозатрат не указана. При тяжелой и очень тяжелой работе энергозатраты спасателей составляют от 450 Вт и 550 Вт. Некоторые виды работ спасателей, например, передвижение с пострадавшим на носилках, сопряжены с энергозатратами 1000 Вт.

Наиболее достоверное значение средневзвешенной температуры кожи T_K в зависимости от энергозатрат организма дает расчет по формуле [3]

$$T_K = 23 + 10,5e^{-0,0038(\frac{Q_{\text{ч}} + Q_{\text{м}}}{S} - 52,6)}, \quad (3)$$

где – $Q_{\text{ч}}$ – энергозатраты человека, Вт;

$Q_{\text{м}}$ – механическая работа, выполняемая человеком (мощность, реализуемая вне тела человека), Вт;

S – площадь поверхности тела, м².

Преимуществом данной формулы является возможность получать значения средневзвешенной температуры кожи в широком диапазоне энергозатрат, которые имеют место при работе членов ВГК.

Ранее проведенными исследованиями во НИИГД «Респиратор» средневзвешенной температуры кожи горнорабочих, работающих в микроклиматических условиях шахты, было определено значение указанной температуры равной 29 °С при энергозатратах 350 Вт. Данная температура с точностью $\pm 0,5$ °С совпадает с температурой, рассчитанной по формуле (3).

Расчеты предельных значений Термоиндекса показывают, что тепловое сопротивление организма человека в пределах энергозатрат от 150 до 500 Вт изменяется от 0,0336 до 0,0195 °С/Вт. Такое уменьшение теплового сопротивления обусловлено разогреванием подкожных мышц при физической нагрузке, что естественным образом влияет на значение средневзвешенной температуры кожи.

Значения Термоиндекса ниже 17 баллов, обозначающие перегревание организма горнорабочих при определенных сочетаниях температуры, влажности и скорости движения воздуха, обусловлено регуляторными реакциями физиологических параметров, в том числе изменением средневзвешенной температуры кожи. Следствием этого является изменение энергетического баланса между организмом человека и окружающей средой.

Компенсаторным фактором оптимизации энергетического баланса при тяжелой и очень тяжелой работе является повышение тепловой устойчивости организма человека. Определение тепловой устойчивости и возможности ее повышения в настоящее время используют при профессиональном отборе кандидатов в респираторщики и командиры в системе Государственной военизированной горноспасательной службе МЧС ДНР [4]. Поддержание уровня тепловой устойчивости горноспасателей обеспечивают регулярными тренировками при повышенной температуре окружающей среды.

Учитывая то, что члены ВГК выполняют работы, которые относятся к категории тяжелой, очень тяжелой и превышающей энергозатраты 550 Вт, поддержание уровня их тепловой устойчивости является необходимым.

Выводы. Применение методики определения предельных значений комплексного показателя оценки микроклимата в горных выработках Термоиндекс позволяет рассчитать возможность безопасного пребывания спасателя в экстремальных условиях.

Поддержание теплового баланса организма спасателей на допустимом уровне (накопление тепла не более 2,1 кДж/кг) без выраженного напряжения механизмов терморегуляции может достигаться повышением эрготермической устойчивости.

Принимая во внимание, что члена ВГК, а также спасатели в условиях нагревающего микроклимата, работают с энергозатратами, превышающими 550 Вт, является целесообразным исследование возможности применения методики оптимизации теплового баланса путем повышения их теплоустойчивости.

Повышение тепловой устойчивости спасателей возможно при разработке и внедрении в практику подготовки спасателей специальных тренировок с определением интегрального показателя тепловой устойчивости и термоадаптации.

Список литературы

1. Комплексный показатель шахтного микроклимата – Термоиндекс //Онасенко А.А., Клименко Ю.В., Карпекин В.В. // 10-я Пленарная сессия международного бюро по Горной теплофизике «18 МТ2005» – Гливице (Польша): Силезский Политехнический институт, 2005. – С. 455 – 459.
2. Онасенко А.А. Энергозатраты человека в экстремальных микроклиматических условиях/ А.А.Онасенко, В.А.Вольский, В.В.Карпекин// Уголь Украины. – 2005. – № 9. – С. 38-39.
3. Землянский И.Я. Оптимальная средневзвешенная температура кожи при интенсивной мышечной деятельности/ И.Я. Землянский, С.Ю. Землянская// Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2008. – С. 158-164.
4. Определение работоспособности горноспасателей. Руководство: КД 12.08.09.001-2000 утв. Центральным штабом Государственной военизированной службы угольной промышленности Украины 18.12.2000.– Донецк, 2000.– 40 с.