

Запропоновано результати тепловізійного контролю різноманітних модифікацій жилету гірськорятувальника (ЖГ). Теоретично пораховано теплові потоки і зроблено їх порівняння з реальними тепловтратами в захисному прошарку ЖГ. Показано, що застосування внутрішнього тепловідбивного прошарку підвищує ефективність роботи ЖГ

Ключові слова: тепловізійний контроль, теплові потоки, проти тепловий одяг

Представлены результаты тепловизионного контроля различных модификаций жилета горнорабочего (ЖГ). Теоретически посчитаны тепловые потоки и дано их сравнение с реальными теплопотерями в защитном слое ЖГ. Показано повышение эффективности работы ЖГ за счет применения внутреннего теплоотражательного слоя

Ключевые слова: тепловизионный контроль, тепловые потоки, противотепловая одежда

The results of termovision control of different modifications of waistcoat of miner are presented. In theory thermal streams are counted up and their comparing is given to real thermal losses in the protective layer of antithermal clothes. The increase of efficiency of work of antithermal clothes is shown, due to application of internal thermal reflection layer

Keywords: termovision control, thermal streams, antithermal clothes

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОТИВОТЕПЛООВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Е. М. Прохоренко

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник*

Контактный тел.: (057) 76-44-295, 067-994-95-87

E-mail: fort-58@mail.ru

В. Ф. Клепиков

Член-корресподент НАН Украины, доктор физико-математических наук, профессор*

В. В. Колесникова

Аспирант

Кафедра "Природоохранная деятельность"

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001

Контактный тел.: (057) 700-41-11

В. В. Литвиненко

Доктор технических наук, старший научный сотрудник*

*Институт электрофизики и радиационных технологий

НАН Украины

ул. Гуданова, 13, г. Харьков, 61002

Контактный тел.: (057) 700-41-11

А. И. Морозов

Кандидат технических наук

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевского, 76, г. Харьков

Контактный тел.: (057) 700-41-11

Введение

В современных условиях возникновение чрезвычайных ситуаций имеет достаточно высокую вероятность. Как показали исследования, подтвержденные статистическими данными, использование защитных мероприятий позволяет уменьшить количество происшествий и аварий. Однако полностью избежать их не удастся. Значительное место в списке чрезвычайных происшествий занимают пожары. Мы не будем останавливаться на причинах их появления, проводить классификацию, оценивать нанесенный урон и т.д. В нашем случае важным является то, что пожар необходимо локализовать и ликвидировать. Следовательно, возникает необходимость в нахождении людей в зоне с повышенной температурой. Особенно важно данный вопрос обстоит в горноспасательных работах. Анализ

практики горноспасательных работ в угольной промышленности Украины показывает, что более половины от их общего объема выполняется в экстремальных микроклиматических условиях, в зоне с повышенной температурой воздуха (ЗПТ). Эти условия, неблагоприятные для организма человека, характеризуются температурой шахтного воздуха свыше 300 К (+27°C), высокой относительной влажностью, интенсивными воздушными потоками. За последние 10 лет при ликвидации последствий аварий горноспасатели Украины отработали в ЗПТ около 55% от общего объема аварийно-спасательных работ[1].

С целью уменьшения воздействия высоких температур и повышенной влажности применяют различные защитные устройства, в частности костюмы пожарных ТАСК-Т, ТОК, БОП и так далее. Кроме этого, эффективным защитным средством являются

жилеты горноспасателей. Работы по их модернизации постоянно проводятся. При усовершенствовании и доработке внедряются прогрессивные технологии, более совершенные материалы.

Цель работы

Целью настоящей работы является проверка эффективности работы жилета горнорабочего (ЖГ), доработанного на основании предложенных авторами усовершенствований и выработка дополнительных рекомендаций по его дальнейшему улучшению.

Обоснование методики усовершенствования. Проведение эксперимента

Основной задачей усовершенствования есть уменьшение теплопередачи. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся методы теплопередачи. Существуют два основных метода: а) контактный (диффузный), б) излучательный (лучистый, радиационный).

Контактный метод существует при соприкосновении тел с разной температурой. С микроскопической точки зрения: в более нагретом теле амплитуда колебаний атомов выше. И процесс нагрева это процесс передачи колебательной энергии от более горячего тела к менее горячему.

Вторым видом теплопередачи является излучательная (радиационная, лучистая), т.е. теплопередача идет за счет излучательной энергии, т.е. энергии излученной электронами при переходе с уровня на уровень. Чем выше температура тела, тем больше излучается тепловой энергии. Контактная теплопередача наиболее существенна. Следует отметить, что её эффективность выше, чем излучательной на порядок.

Основной задачей при проведении работ по усовершенствованию является дальнейшее снижение теплового потока через защитное средство. В нашем случае через ЖГ. Применительно к горноспасательным работам: обеспечить максимально возможное время нахождения людей, защищаемых жилетом горноспасателя, в области повышенного температурного воздействия. Или чисто практически задачу можно перефразировать следующим образом: дать возможность а) более длительно, б) безопасно, в) комфортно находится в экстремальной зоне объектам защиты снаряженным ЖГ. При проектировании, разработке и эксплуатации традиционных средств спасения, обычно применяются несколько способов уменьшения теплового воздействия. Традиционно тепловой поток уменьшают посредством снижения контактной теплопередачи. С этой целью применяются материалы, которые обладают низким коэффициентом теплопроводности. Следующим шагом усовершенствований было нанесение на внешнюю поверхность одежды различных зеркальных, металлизированных покрытий, отражающих инфракрасное излучение. Последующая доработка – введение в конструкцию жилета горноспасателя аккумуляторов холода. Для этой цели применяли герметически закрытые емкости с хладагентом, которые перед использованием охлаждались. В качестве хладагента в емкости помещались, как синтетические

жидкости, так и обычная вода. Все эти усовершенствования и разработки позволяют ЖГ быть эффективным защитным средством при работе в зонах с повышенной температурой. Тем не менее, существует достаточно причин продолжить доработку спасательной одежды.

Было предложено несколько усовершенствований повышающих эффективность ЖГ. Для диагностики проведенных усовершенствований использовали тепловизионную технику. Приборы тепловизионной техники (тепловизоры) работают в диапазоне 3.5 – 5мкм и 8 – 14мкм, что соответствует окнам прозрачности атмосферы. В качестве источника информации используется или собственное тепловое поле обследуемого объекта (пассивная термография), или прошедшее тепловое поле которое было специально создано (активная термография). Приборы тепловизионной техники позволяют в непрерывном режиме, бесконтактным способом, в реальном интервале времени получать информацию о распределении температурного поля на поверхности обследуемого объекта. Поток собственного излучения W_c (Вт) любого тела с температурой T и степенью черноты (коэффициентом излучения) ϵ , определяется формулой Стефана-Больцмана[2]:

$$W_c = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана. Кроме съема информации, тепловизионные приборы позволяют фиксировать полученные результаты и сохранять их. Все результаты представляются в виде тепловизионных картинок – термограмм. В наших задачах применялся тепловизор Ti-814, на основе неохлаждаемой болометрической матрицы (320 × 240) элементов с основными параметрами: спектральный диапазон 7.5 – 14 мкм; температурная чувствительность при 30°C составляла 0.08°C; пространственное разрешение 1,3 мрад; поле зрения составляет 23° × 17°; диапазон измеряемых температур от -20°C до +1500°C (опционно).

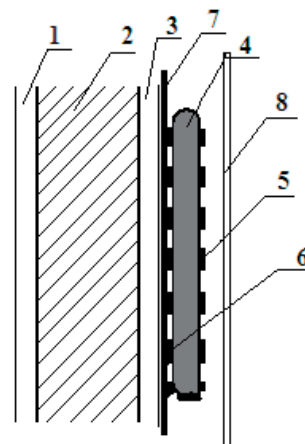


Рис. 1. Поперечное сечение жилета горнорабочего: 1 – внешний слой ЖГ, 2 – средний теплозащитный слой, 3 – внутренний слой, 4 – хладагент, 5, 6 – решетка из пластмассы, 7 – теплоотражательный слой, 8 – слой нательного белья

Часть доработок была направлена на изменение компоновки и расположения отдельных деталей (сюда входят изменения формы клапана запаха, размещение

застежек и т.д.). Вторая часть доработок носит принципиальный характер и направлена непосредственно на уменьшение теплового потока. Оригинальным явилось предложение о включении участков с излучательной теплопередачей, в процесс диффузного теплопереноса, что автоматически снижает тепловой поток. Схема усовершенствованного жилета горнорабочего представлена на рис. 1.

Основной доработкой было введение в конструкцию ЖГ теплоотражательного слоя 7, выполненного из зеркальной металлизированной пленки, и пластмассовых решеток 5,6 вокруг элемента хладагента. Решетки 5,6 служат для создания воздушных зазоров. Прохождение теплового потока через слои 1,2,3 модернизированного ЖГ, не отличается от теплопереноса в аналогичных слоях базового ЖГ. Теплоотражательный слой 7, контактно нагревается от защитного слоя 3. Но так как, решетка 6 создает воздушный зазор, то возможна только теплопередача излучательного типа. За счет того, что ϵ зеркальных тел очень мала, то малым является и тепловое излучение поверхности 7 (в соответствии с формулой (1)). Также зеркальный слой 7 отражает низкотемпературное излучение от охладителя. Таким образом, участок, состоящий из поверхности 7 и воздушной щели, образованной решеткой 6, выполняет две функции: прерывает диффузную теплопередачу с повышенной температурой во внутрь ЖГ и отражает низкотемпературный поток назад, не давая рассеяться наружу. Воздушный зазор, создаваемый решеткой 5, также отвечает за прерывание контактной и включение излучательной теплопередачи. Таким образом, в конструкции усовершенствованного жилета определенным образом объединены контактная и излучательная теплопередачи и охладитель. Все это позволяет значительно повысить эффективность его работы. Рассматривались три типа ЖГ, отличающиеся друг от друга различными усовершенствованиями. В качестве базового – классический, состоящий из слоев 1,2,3,8 из представленных на рис. 1. Второй – это ЖГ с добавленным, охладителем. В нем присутствуют элементы 1,2,3,4,8. И третий тип, который подвергался максимальному количеству доработок – это объект представленный на рис. 1 в целом. Эксперимент проводился в несколько этапов. На каждом из последующих этапов исследовались дальнейшие модификации костюма горноспасателя. Методика проведения для каждого этапа происходила по одинаковой технологии. Жилет горноспасателя был одет на исследователе, который, находился в помещении с повышенной температурой и повышенной влажностью. Температура составляла 318°K(45°С). Тепловизором производилось наблюдение за температурным полем на поверхности и внутри ЖГ, а также за состоянием исследователя. Эксперимент заканчивался после разогрева внутренней стороны ЖГ до температуры 311°K(38°С). Кроме времени, которое пошло на разогрев, также фиксировалась динамика изменения температуры, её распределение по поверхности, температурные градиенты, особые точки и т.д.

Для проверки наших предположений и доработок и сравнения с экспериментом, посчитаем уменьшение теплового потока от внешних источников через всю толщину ЖГ. Точно решить данную задачу довольно сложно. Однако, используя приближенные выраже-

ния, можем получить значения теплового потока имеющие хорошее согласование, как с точным решением, так и с экспериментом. Для решения сделаем следующие предположения: 1) используем декартовую систему координат; 2) рассматриваем линейное приближение; 3) распространение теплового потока происходит в выбранном направлении (приближение однородного по поперечному сечению теплового потока). Считаем, что у нас полубесконечные изотропные плоскости, т.е. граничные условия, сказываются только на внешних поверхностях пластины по фронту теплового потока. Это возможно при учете малого элемента поверхности по сравнению с размерами жилета.

В общем виде уравнение теплопроводности представим как[3]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\gamma} \cdot \nabla^2 T + \frac{1}{c\gamma} \cdot W \quad (2)$$

вес тела, где T – температура, c – удельная теплопроводность тела, γ – удельный λ – коэффициент теплопроводности вещества (удельная теплопроводность), устанавливаемый экспериментально (скалярная величина, зависящая от природы вещества), W – мощность источников тепла, в нашем случае – внешние источники. Уравнение позволяет учитывать конечную скорость распространения тепла. Для плоского случая стационарного распространения теплового потока без внутренних источников уравнение (2) приводится к одномерному уравнению Лапласа[4]. Из него, учтя граничные условия на внешней и внутренней стороне слоя, получим выражение для теплового потока.

$$q = \frac{\lambda_i}{\delta_i} (T_i - T_k) \quad (3)$$

где q – тепловой поток, λ_i – удельная теплопроводность i -го слоя, δ_i – толщина – i -го слоя, T_i – температура на внешней стороне, T_k – температура на внутренней стороне. Изменение температуры в каждом слое составляет:

$$T_1 - T_2 = q \frac{\delta_1}{\lambda_1}; T_2 - T_3 = q \frac{\delta_2}{\lambda_2}; T_3 - T_4 = q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \quad (4)$$

Из выражения (4) получаем удельный тепловой поток:

$$q = (T_1 - T_4) / (\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3) \quad (5)$$

При расчетах использовались такие величины: $T_1 = 45^\circ\text{C}$, $T_4 = 38^\circ\text{C}$, $\delta_1 = 0.5\text{мм}$, $\delta_2 = 18\text{мм}$, $\delta_3 = 0.5\text{мм}$, λ_i – табличные величины. Во всех трех типах жилетов первые три слоя одинаковые, поэтому одинаковы и все тепловые процессы. В случае наличия хладагента, время работы ЖГ увеличивается. Холодильные емкости работают в двух направлениях. С одной стороны – поглощают тепловой поток, прошедший через теплоослабляющие элементы, с другой стороны – тепловую энергию, выделяющуюся в результате функционирования организма. В нашем случае, в качестве хлада-

гента, применялась вода, которая находилась в емкостях толщиной 1см. Использование воды удешевляет конструкцию жилета, и кроме того, сильно упрощает расчеты. Перед употреблением емкости предварительно подвергались замораживанию. При эксплуатации сначала происходило плавление льда, а затем нагрев воды. Для упрощения расчетов пересчет производился для объема один кубический сантиметр. При плавлении этого объема льда, в соответствии с формулой:

$$Q = gm \quad (6)$$

поглощается, 334 Дж тепла (здесь Q - тепло, $g = 334$ кДж/кг – удельная теплота плавления льда, $m = 10^{-3}$ кг – масса выбранного объема льда. Для нагрева этого же объема воды до температуры 38°C, необходимо 160 Дж тепла. Это можно получить из выражения:

$$Q = cm(T_1 - T_2) \quad (7)$$

где $c = 4.2$ кДж/кгК – удельная теплоемкость воды, $T_1 - T_2 = 38^\circ\text{C}$ – разница температур. Суммировав, тепловой поток от внешней среды (её температура 45°C), прошедший через защитные слои (1,2,3), и тепловой поток от организма (температура 36,6°C), и сравнив с теплопоглощающей возможностью холодильника, получаем, что время достижения теплового баланса, в пересчете на один кубический сантиметр водной смеси составляет - 16 мин. При экспериментальной проверке был получен результат - 14 мин. Уменьшение времени связано с тем, что не удалось получить однородную толщину хладагента. Кроме этого, охлаждающие элементы расположены по зонам: две полосы спереди и одно пластина сзади. Также не охлаждались подмышечные области и запах. Следовательно, увеличивалось количество поступавшего к испытателю тепла, что уменьшало время нахождения его в нагретой зоне.

На следующем этапе проверяли работу модифицированного, охлаждаемого ЖГ. В качестве усовершенствования применяли металлизированную зеркальную пленку, которую размещали между теплоуменьшающими слоями и холодильником. Конкретно использовали алюминиевую фольгу, толщиной 10 мкм, коэффициент излучения которой составлял величину $\epsilon = 0.2$. С внешней стороны пленка нагревалась контактным способом. Из-за того, что толщина её пренебрежимо мала, можем считать температуру пленки равной температуре на внутренней стороне слоя 3.

Зеркальная поверхность пленки излучает в воздушный зазор в соответствии с выражением (1). Посчитав тепловой поток, мы получили его уменьшение в 1.5 раза. Для получения такого результата посредством контактной передачи необходимо увеличить слой 2 тоже в 1.5 раза, т.е. на 9мм. В нашем же случае увеличение составило 2мм. Таким образом, введение участка с излучательной теплопередачей в зоны с контактной теплопередачей позволяет значительно снизить тепловой поток, не наращивая толщину, ослабляющих слоев. Данное предположение было сначала проверено на макетном стенде, а затем был изготовлен образец ЖГ, который апробировался в реальных условиях. Испытания макетного образца полностью подтвердили правильность сделанного предположения и эффективность его работы. Полученный результат совпал с расчетным. Время выхода на тепловое равновесие составило 23 мин. Время охлаждаемого ЖГ составляло - 16 мин. Сравнение этих величин дает тот же результат 1.5 раза. При проверке реального охлаждаемого ЖГ с теплоотражающими элементами получили время нахождения в теплой зоне около 18-20 минут, что соответствовало увеличению времени на 17% - 25%. Эти величины ниже расчетных. Основной причиной ухудшивших эффективность работы ЖГ явилось недостаточно жесткое крепление отражающей пленки, что повлекло её подвижность и наличие пластмассовых решеток, увеличивающих контактную теплопроводность. Тем не менее, исходя из результатов макетных испытаний, существует возможность снижения теплопотока путем введения в зону контактной теплопередачи участков с излучательной теплопередачей.

Выводы

1. Проведен теоретический расчет тепловых потоков через поверхность различных типов жилета горнорабочего.
2. Изготовлены и опробованы в реальных условиях образцы охлаждаемого ЖГ с внутренним зеркальным отражающим слоем.
3. Показано, что при введении в зону контактной теплопередачи - участков с низкой излучательной теплопередачей, время нахождения в нагретой зоне увеличивается на 20%, а толщина защитной одежды уменьшается в 1.5 раза.
4. Является эффективным применение внутренне-го, зеркального отражательного слоя для работы ЖГ.

Литература

1. Колесникова В.В. Повышение изоляционных свойств противотепловой одежды. / В.В.Колесникова, В.Ф.Клепиков, Е.М.Прохоренко. // Горно-спасательное дело. – 2010. – №47. – С.127 – 133.
2. Базалеев Н.И. Влияние излучательной способности на информативность поля инфракрасного излучения. / Н.И.Базалеев, Б.Б.Бандуриан, В.В.Брюховецкий, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 5/4. – 2008. – С.32–36.
3. Grober H. Die grundgesetze der warmuebertragung. / H.Grober, S.Erk. – Berlin :Verlag von Julius springer, 1933. – 320p.
4. Фокин В.М. Основы энергосбережения в вопросах теплообмена. /В.М.Фокин, Г.П.Бойков, Ю.В.Видин. – Москва “Издательство машиностроение-1”,2005. – 192с.