

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОДКОСТЮМНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО

Д.В. Сорокин, А.Л. Никифоров, И.Ю. Шарбанова, О.Г. Циркина

Статья направлена на установление зависимости влияния температурно-влажностного режима подкостюмного пространства боевой одежды пожарного на ее теплозащитные свойства. В статье освещены вопросы теплообмена в системе «Человек – БОП – Окружающая среда». Рассмотрена структура пакета материалов боевой одежды. Приведены основные причины снижения теплозащитных свойств боевой одежды пожарного. Представлены результаты исследования по определению уровня влияния температурно-влажностного режима пожарного на снижение теплозащитных свойств боевой одежды, а также определения наиболее уязвимых участков тела пожарного при работе в боевой одежде.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, пакет материалов, температурно-влажностный режим, температура, тепловой поток, тепловой удар, термический ожог.

Работа пожарного связана с высоким риском для жизни и здоровья. Во время тушения пожара тепловые поражающие факторы, такие как высокая температура, открытое пламя, тепловой поток, могут превышать предельно допустимые значения. Тепловое воздействие в совокупности с большой физической нагрузкой может приводить к травмированию пожарного. Так, при резком увеличении температуры в подкостюмном пространстве боевой одежды происходит повышение температуры тела пожарного, увеличение частоты сердечных сокращений и артериального давления, что приводит к ухудшению самочувствия, нарушению терморегуляции, и впоследствии - к тепловому удару или ожогу [1].

Основным средством защиты пожарного от опасных тепловых факторов окружающей среды на пожаре является боевая одежда пожарного (далее – БОП) [2].

Пакет материалов для изготовления БОП структурно состоит из следующих слоев:

- материал верха, выполненный из негорючих тканей для защиты от воздействия открытого пламени и механических воздействий;
- водонепроницаемый слой, выполненный из полимерных материалов для защиты от негативных воздействий влаги, ветра;
- теплоизоляционная подкладка, выполненная из материалов с низкой теплопроводностью и предназначенная для защиты от повышенных тепловых воздействий окружающей среды;
- гигиеническая хлопчатобумажная ткань (Рис.1).

Слои пакета материала БОП допускаются совмещать между собой, например, материал верха с полимерным пленочным покрытием.



Рис. 1. Структура пакета материалов БОП

Конструктивное исполнение пакета материалов БОП направлено на защиту пожарного от внешних опасных факторов окружающей среды на пожаре, основным из которых является повышенное тепловое воздействие. Коэффициент теплопроводности пакета материалов БОП напрямую зависит от влажности (Рис. 2).

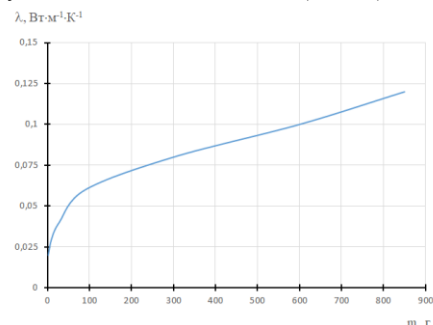


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента теплопроводности многослойного пакета БОП в зависимости от изменения массы выделяющейся влаги

Для защиты от влаги, поступающей из окружающей среды в конструкции БОП, предусмотрен водонепроницаемый слой. Однако влага в пакет материалов может поступать не только из окружающей среды, но и в результате потоотделения человека при интенсивной физической нагрузке и высоких температурах. Количество влаги, передаваемое в пакет материалов БОП, может быть значительным. Так, в

работе [3] приведены показатели потоотделения человека при интенсивной работе в специальной защитной одежде пожарного. Количество влаги, выделяемое при этом, способно повысить значение коэффициента теплопроводности теплоизоляционного слоя БОП более чем в 2 раза. Следовательно, при выполнении пожарным оперативно-тактических задач, связанных с воздействием повышенных тепловых потоков, происходит сокращение нормированного времени защитного действия.

Современная методика испытания БОП не учитывает влияния температурно-влажностного

режима человека на теплозащитные свойства БОП. Однако это влияние существенно.

Рассмотрим процессы теплообмена в системе «Человек – БОП – Окружающая среда». Эксплуатация БОП возможна при двух режимах работы пожарного. При первом режиме отсутствует воздействие высокой температуры окружающей среды, т.е. пожарный выполняет работу, не связанную с тушением очага пожара (далее – обычный режим). При втором режиме пожарный находится в зоне воздействия высокой температуры окружающей среды (далее – боевой режим).

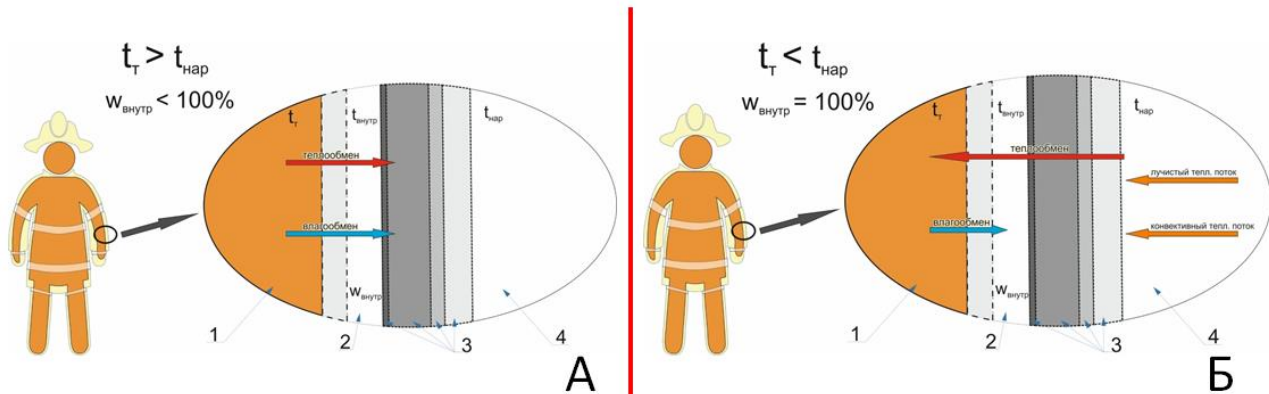


Рис. 3. Теплообмен в системе «Человек – БОП – Окружающая среда»

1 – тело пожарного, 2 – воздушная прослойка, 3 – пакет материалов БОП, 4 – окружающая среда

При обычном режиме температура окружающей среды ($t_{нар}$) ниже температуры тела пожарного (t_t) и влажность в подкостюмном пространстве ($W_{внутр}$) менее 100% (боевая одежда относительно сухая). Во время выполнения пожарным интенсивной работы происходит повышение температуры тела. В организме человека включаются естественные процессы терморегуляции: охлаждение организма происходит за счет дыхания и потоотделения с последующим испарением влаги с поверхности тела. Общеизвестно, что теплообмен направлен от более нагретого тела к менее нагретому, и в данных условиях тепло отводится от тела пожарного в сторону БОП и окружающей среды всеми способами: теплопередачей, конвекцией, излучением. Влагообмен происходит за счет испарения влаги с поверхности тела, а также контактным способом. В процессе влагообмена происходит намокание теплоизолирующего слоя боевой одежды за счет потоотделения пожарного. Для комфортных условий работы при обычном режиме необходимо обеспечить отведение тепла и влаги от тела пожарного, что и происходит на практике (Рис. 3-А).

Однако при рассмотрении боевого режима, когда температура окружающей среды ($t_{нар}$) значительно выше температуры тела пожарного (t_t) и влажность в подкостюмном пространстве ($W_{внутр}$) равна 100%, теплообмен происходит иначе. Теплообмен направлен в сторону тела пожарного, за счет чего происходит рост температуры в

подкостюмном пространстве и, как следствие, увеличение температуры тела пожарного. Потоотделение усиливается, однако испарения пота не происходит, поскольку в насыщенном водяными парами воздухе вода испаряться не может, и влага конденсируется на поверхности тела. Таким образом, терморегуляция организма пожарного практически прекращается и осуществляется только за счет дыхания. Влагообмен происходит контактным способом. БОП намокает, за счет чего происходит значительное снижение теплозащитных свойств, и создаются условия, при которых возможно получение теплового удара и ожогов (Рис. 3-Б).

Возникает некий парадокс: в боевом режиме организм человека, осуществляя терморегуляцию при помощи потоотделения, ускоряет рост температуры в подкостюмном пространстве БОП.

Предельно допустимое значение температуры в подкостюмном пространстве БОП – 50°C [2]. Повышение температуры поверхности тела до 50°C и выше может приводить к возникновению ожога. Как правило, термические ожоги у пожарных имеют местный характер, и основной причиной их получения является снижение теплозащитных свойств БОП в результате ряда факторов:

– повышенная влажность пакета материалов БОП, возникающая при внешнем воздействии огнетушащих веществ и внутреннем увлажнении в результате интенсивного

потоотделения пожарного во время выполнения тяжелой работы при высоких температурах;

– уменьшение толщины теплоизолирующего слоя БОП в результате механического воздействия. Сжатие пакета материалов может происходить при сгибании коленных и локтевых суставов в сидячем положении, под давлением веса дыхательного аппарата на область плеч, слипанию пакета материалов в результате многократных механических и термических воздействий;

– повышенная теплопроводность светоотражающих лент и логотипов;

– термическая деструкция материалов БОП, которая может протекать без видимых изменений внешнего слоя и приводить к значительному снижению тепловой устойчивости материалов [4-8].

С целью определения уровня влияния температурно-влажностного режима пожарного на снижение теплозащитных свойств БОП, а также определения наиболее уязвимых участков тела пожарного при работе в БОП нами было проведено исследование по контролю температур в подкостюмном пространстве БОП в условиях, максимально приближенных к условиям тушения очага пожара.

Исследование проводилось в огневом симуляторе ПТС «Уголек М» и представляло собой контроль температур в 10 точках подкостюмного пространства группы испытуемых в ходе проведения тренировочного занятия. Также

контроль температур производился в подкостюмном пространстве БОП, надетой на манекены, помещенные в огневой симулятор на время проведения исследования.

Для контроля температур использовались термометрические полоски «Testo AG D-79849 Lenzkirch» с измерительным диапазоном +37...+65°C. Полоски имеют погрешность измерения температур 1,5°C и необратимо изменяют цвет за 2 секунды. Измерение проводилось во время всей тренировки в течение 30 мин.

В ходе исследования было выявлено, что наиболее уязвимыми для теплового воздействия участками тела являются голова, кисти рук, область груди и плеч, бедра. Необходимо отметить, что, как правило, наиболее высокие температуры наблюдались в местах плотного прилегания БОП к телу испытуемого, а именно, в местах прилегания плечевых ремней дыхательного аппарата. Также было выявлено, что значения температур на участках БОП, подвергшихся намоканию в результате потоотделения, были значительно выше, чем на сухих участках. Температура в подкостюмном пространстве испытуемых была выше, чем у манекенов в среднем на 18%. Максимальная разница температур была отмечена в области надплечья и составила 38%. Результаты данного исследования подтверждают значительное влияние температурно-влажностного режима человека на защитные свойства БОП.

Библиография

1. Болібрух Б.В. Модель теплового состояния пожарного в защитной одежде / Б.В. Болібрух, М. Хмель, Ю. Мазур // *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Vol. 41 Issue 1, 2016.* - Pp. 37-46
2. ГОСТ Р 53264-2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандратинформ. – 2009. – 37 с.
3. Михайлов Е.С. Влияние температурно-влажностного режима внутреннего пространства термоагрессивостойких костюмов на их теплозащитные свойства / Е.С. Михайлов, В.И. Логинов // *Пожарная безопасность.* – 2014. – №1. – С. 56 - 62.
4. *Final Report of Thermal Capacity of Fire Fighter Protective Clothing.* Fire Protection Research Foundation. – 2008. – 37 pp.
5. Гусаров А.М. Прогнозирование температуры на внутренней поверхности пакета материалов боевой одежды пожарного при многоцикловом тепловом воздействии / А.М. Гусаров, А.А. Кузнецов, Н.М. Дмитракович // *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация.* – 2012. – №2, – С.140 - 147.
6. Кузнецов А.А. Исследование изменения защитных свойств боевой одежды пожарных при

References

1. Bolibruh B.V. Model' teplovogo sostoyaniya pozharnogo v zashchitnoj odezhdе / B.V. Bolibruh, M. Hmel', YU. Mazur // *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, Vol. 41 Issue 1, 2016.* - Pp. 37-46
2. GOST R 53264-2009. *Tekhnika pozharnaya. Special'naya zashchitnaya odezhdа pozharnogo. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii.* Standratinform. – 2009. – 37 с.
3. Mihajlov E.S. Vliyanie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima vnutrennego prostranstva termoagressivostojkih kostyumov na ih teplozashchitnye svojstva / E.S. Mihajlov, V.I. Loginov // *Pozharnaya bezopasnost'.* – 2014. – №1. – S. 56 - 62.
4. *Final Report of Thermal Capacity of Fire Fighter Protective Clothing.* Fire Protection Research Foundation. – 2008. – 37 pp.
5. Gusarov A.M. *Prognozirovanie temperatury na vnutrennej poverhnosti paketa materialov boevoy odezhdы pozharnogo pri mnogociklovom teplovom vozdejstvii* / A.M. Gusarov, A.A. Kuznecov, N.M. Dmitrakovich // *CHrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya.* – 2012. – №2, – S.140 - 147.
6. Kuznecov A.A. *Issledovanie izmeneniya zashchitnyh svojstv boevoy odezhdы pozharnyh pri mnogociklovyh ehkspluacionnyh vozdejstviyah* // *Vestnik Vitebskogo*

многоцикловых эксплуатационных воздействиях // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – №2. – С. 38 – 445.

7. Архиреев К.Э. Исследования по определению возможности увеличения срока службы боевой одежды пожарного / Архиреев К.Э., Игнатова И.Д., Логинов В.И. // Пожарная безопасность. – 2014. – №4. – С. 61 - 65.

8. Логинов В.И. Результаты испытаний специальной защитной одежды пожарного на стенде «Термоманекен» / В.И. Логинов, М.Д. Игнатова, К.А. Архиреев // Пожарная безопасность. – 2011. – №3. – С. 89 - 93.

gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2014. – №2. – С. 38 – 445.

7. Arhireev K.EH. Issledovaniya po opredeleniyu vozmozhnosti uvelicheniya sroka sluzhby boevoj odezhdy pozhnarnogo / Arhireev K.EH., Ignatova I.D., Loginov V.I. // Pozhnarnaya bezopasnost'. – 2014. – №4. – С. 61 - 65.

8. Loginov V.I. Rezul'taty ispytaniy special'noj zashhitnoj odezhdy pozhnarnogo na stende «Termomaneken» / V.I. Loginov, M.D. Ignatova, K.A. Arhireev // Pozhnarnaya bezopasnost'. – 2011. – №3. – С. 89 - 93.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY CONDITIONS PODCASTING SPACE ON THE PROTECTIVE PROPERTIES OF COMBAT CLOTHING FIRE

The article is aimed at establishing the dependence of the influence of the temperature-humidity regime of the subcostal space of the fireman's combat clothing on its heat-shielding properties. The article covers the issues of heat and mass transfer in the system "Man - BOP - Environment". The structure of a package of combat clothing materials is considered. The main reasons for the decrease in the heat-shielding properties of fire fighting clothing are given. The results of a study on determining the level of influence of the temperature and humidity regime of a fireman on reducing the heat-shielding properties of combat clothing, as well as determining the most vulnerable parts of the fireman's body when working in combat clothing, are presented.

Keywords: fireman's combat clothing, package of materials, temperature-humidity regime, temperature, heat flow, heat stroke, thermal burn.

Сорокин Дмитрий Вячеславович,

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново,
тел. 8-915-844-29-35,
e-mail: element_37@mail.ru,

Sorokin D.V.,

Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Ivanovo.

Никифоров Александр Леонидович,

доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты (в составе УНК
«Государственный надзор»),
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, г. Иваново,
тел. 8-920-345-08-10,
e-mail: anikiforoff@list.ru.

Nikiforov A.L.,

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,
professor of the fire safety department of defense facilities (as part of the "State Supervision"),
Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Ivanovo.

Шарабанова Ирина Юрьевна,

кандидат медицинских наук, доцент,
заместитель начальника академии по научной работе,
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
тел. 8-962-157-49-99,
e-mail: sharabanova@bk.ru,

Sharabanova I.U.,

*Candidate of Medical Sciences, Associate Professor,
Deputy Head of the Academy for Scientific Work,
Ivanovo fire and rescue academy of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Ivanovo.*

Циркина Ольга Германовна,
*доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры химии, экологии и микробиологии,
ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Россия, г. Иваново,
тел. 8-980-680-87-27,
e-mail: ogtsirkina@mail.ru,*

Tsirkina O.G.,
*doctor of technical sciences, associate professor,
Professor of the Department of Chemistry, Ecology and Microbiology,
FGBOU VO Ivanovo State Polytechnic University,
Russia, Ivanovo.*