

УДК 614.847.9

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПАКЕТА МАТЕРИАЛОВ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО НА ЕГО ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Д. В. СОРОКИН, А. Л. НИКИФОРОВ, О. Г. ЦИРКИНА, С. Н. УЛЬЕВА, И. Ю. ШАРАБАНОВА
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: element_37@mail.ru, anikiforoff@list.ru,
ogtsirkina@mail.ru, jivotyagina@mail.ru, sharabanova@bk.ru

Работа посвящена оценке влияния эксплуатационных факторов на теплозащитные показатели боевой одежды пожарного (БОП). Отмечается, что влияющими на изменение теплозащитных показателей пакета материалов БОП факторами является наличие воздушных прослоек между слоями пакета материалов, высокий уровень влажности материалов, наличие механических воздействий, таких как сжатие и деформация пакета материалов.

В работе приведены результаты экспериментального исследования по оценке влияния влажности пакета материалов боевой одежды пожарного на его теплозащитные показатели. Установлено, что увлажнение пакета материалов БОП, возникающее в результате потовыделения пожарного при выполнении интенсивной работы в условиях воздействия высоких температур, приводит к заполнению воздушных пор жидкостью, слипанию слоев пакета материалов и естественной ликвидации воздушных прослоек между слоями. Это приводит к изменению теплофизических свойств пакета материалов одежды, что снижает время защитного действия комплекта одежды более чем в 2 раза.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного; пакет материалов и тканей, теплозащитные показатели, влажность материала, теплозащита.

INFLUENCE OF HUMIDITY OF A PACKAGE OF MATERIALS OF FIGHTING CLOTHES OF THE FIREFIGHTER ON ITS HEAT-PROTECTIVE INDICATORS

D. V. SOROKIN, A. L. NIKIFOROV, O. G. TSIRKINA, S. N. ULEVA, I. YU. SHARABANOVA
Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy
of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,
Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: element_37@mail.ru, anikiforoff@list.ru,
ogtsirkina@mail.ru, jivotyagina@mail.ru, sharabanova@bk.ru

The work is devoted to the assessment of the impact of operational factors on the thermal performance of combat clothing firefighter (BOP). It is noted that the impact on the thermal protective performance of materials BOP factors is the presence of air layers between the layers of package material, a high level of material moisture, mechanical influences, such as compression and deformation of the material package.

The paper presents the results of an experimental study to assess the impact of moisture package materials combat clothing firefighter on its thermal performance. It is established that the wetting of the package of BOP materials, resulting from the sweat of a firefighter when performing intensive work under high temperatures, leads to the filling of air pores with liquid, the adhesion of the layers of the package of materials and the natural elimination of air layers between the layers. This leads to a change in the thermo-physical properties of the package of clothing materials, which reduces the time of protective action of the clothing set by more than 2 times.

Key words: firefighter's combat clothing; package of materials and fabrics, heat-protective indicators, material humidity, thermal protection.

Пакет материалов и тканей боевой одежды пожарного (БОП) представляет собой набор слоев разнородных материалов различного функционального назначения с наличием между ними воздушных прослоек. Конструкция пакета материалов БОП была разработана еще в начале XX века и применяется в настоящее время. Влияние эксплуатационных факторов на теплозащитные показатели пакета материалов одежды, а также уровень физико-механического воздействия слоев пакета друг на друга являются малоизученными. По этой причине значения защитных показателей пакета материалов при испытаниях и эксплуатации могут значительно отличаться [1].

Влияющими факторами на изменение теплозащитных показателей материалов БОП является наличие воздушных прослоек между слоями пакета материалов, наличие механических воздействий, например, сжатие пакета материалов, высокий уровень влажности материалов и др. Воздействие данных факторов приводит к снижению теплозащитных показателей на отдельных участках одежды, что может приводить к получению ожогов пожарными.

Основную теплозащитную функцию в пакете материалов БОП выполняет теплоизоляционная подкладка, изготавливаемая из объемно-пористых текстильных материалов, обладающих низкой теплопроводностью. Теплопроводность таких материалов напрямую зависит от количества воздуха, содержащегося в порах материала. Содержание воздуха в материале может изменяться в результате сжатия материала или его увлажнения (заполнения пор жидкостью). С внешней стороны теплоизоляционная подкладка защищена от попадания влаги, а ее намокание может происходить только в случае механического дефекта водонепроницаемого слоя. Однако влага в теплоизоляционный слой может попадать с внутренней поверхности пакета материалов в результате потоотделения пожарного.

Работа по тушению пожара, связанная с воздействием высоких температур и высоким уровнем физической активности пожарного, выполняемой в БОП, сопровождается значительным потоотделением. В зависимости от степени тяжести выполняемых работ допустимые влагопотери пожарного лежат в диапазоне от 500 до 1000 г/час^{1,2}. Выделение по-

та на разных участках тела человека происходит по-разному. Количество выделяемой влаги человеком на участках, подверженных наибольшему нагреву в процессе выполнения работ по тушению пожара, составляет от 0,1 до 0,2 г/см² [2]. Исследований по изменению теплозащитных показателей в зависимости от влажности пакета материалов БОП в современных литературных источниках найти не удалось. Необходимо отметить, что влияние влажности на теплозащитные показатели БОП не рассматриваются при сертификационных испытаниях защитной одежды. Именно поэтому целью исследования является оценка влияния влаги, возникающей в результате потоотделения пожарного, на теплозащитные показатели пакета материалов БОП.

В качестве сравнительного теплозащитного показателя был выбран параметр времени достижения предельно допустимого значения температуры на внутренней поверхности пакета материалов (50 °С).

Для проведения исследования были подготовлены образцы пакета материалов БОП (производитель ЗАО «Элиот»³) размером 160x160 мм:

1. Контрольные воздушно-сухие образцы (контрольные);
2. Образцы с введенной жидкостью 0,1 г/см² (Обр. W (0,1 г/см²));
3. Образцов с введенной жидкостью 0,2 г/см² (Обр. W (0,2 г/см²)).

Увлажнение образцов осуществлялось путем равномерного нанесения расчетного количества влаги на всю внутреннюю поверхность пакета материалов. После чего образцы помещались в эксикатор на 30 мин, для равномерного распределения влаги внутри пакета материалов, а также предотвращения потери влаги в результате испарения.

В ходе исследования, подготовленные образцы пакета материалов БОП подвергались тепловому воздействию при значении теплового потока 5 кВт/м² в течение 300 с.

Зависимости изменения температуры на внутренней поверхности образцов пакета

¹ ГОСТ Р 53264-2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2009. 37 с.

² ГОСТ 12.4.176-89 Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 8 с.

³ Руководство по эксплуатации и паспорт «Боевая одежда пожарного для различных климатических районов» РЭ 8572-003-49984806-2004. ЗАО «Элиот». С.-Петербург. 18 с.

материалов БОП с различной влажностью представлены на рис. 1, 2.

Скорость нагрева внутренней поверхности образцов с повышенной влажностью значительно выше, чем у воздушно-сухих (рис. 2). Время достижения предельно допустимого значения температуры внутренней поверхности влажных образцов снижается более чем в 2 раза по сравнению с воздушно-

сухими, что существенно ниже нормативного значения⁴ и является недопустимым.

Кроме того, максимальная температура нагрева внутренней поверхности влажных образцов $W (0,2 \text{ г/см}^2)$ имеет критические значения, при которых возникает риск получения ожоговой травмы при контакте материала с телом.

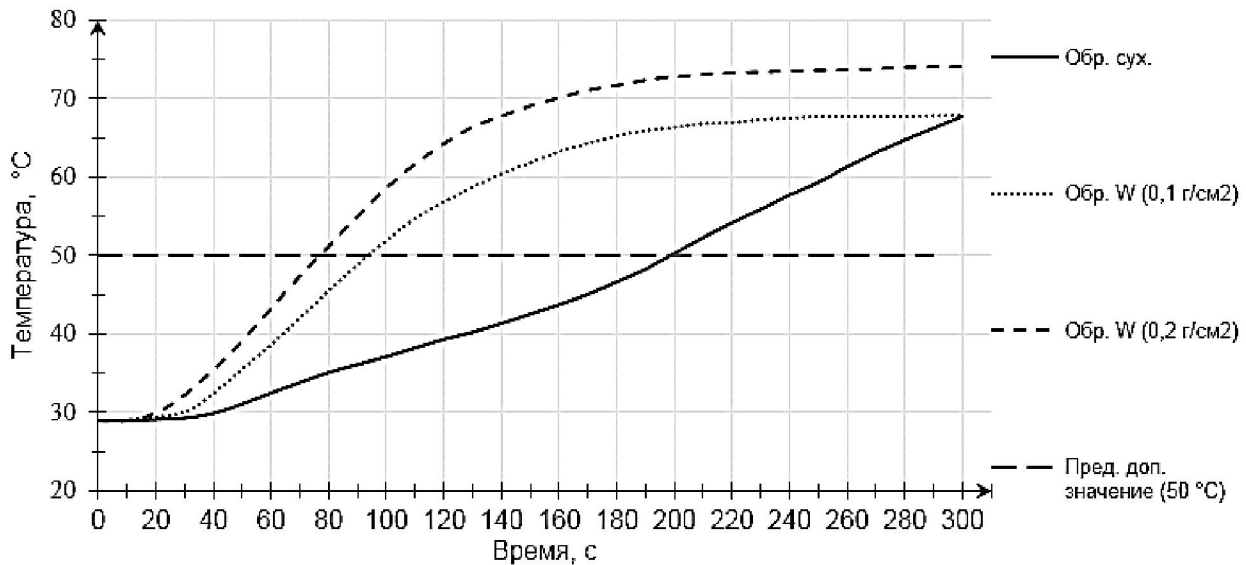


Рис. 1. Изменение температуры на внутренней поверхности образцов с различной влажностью

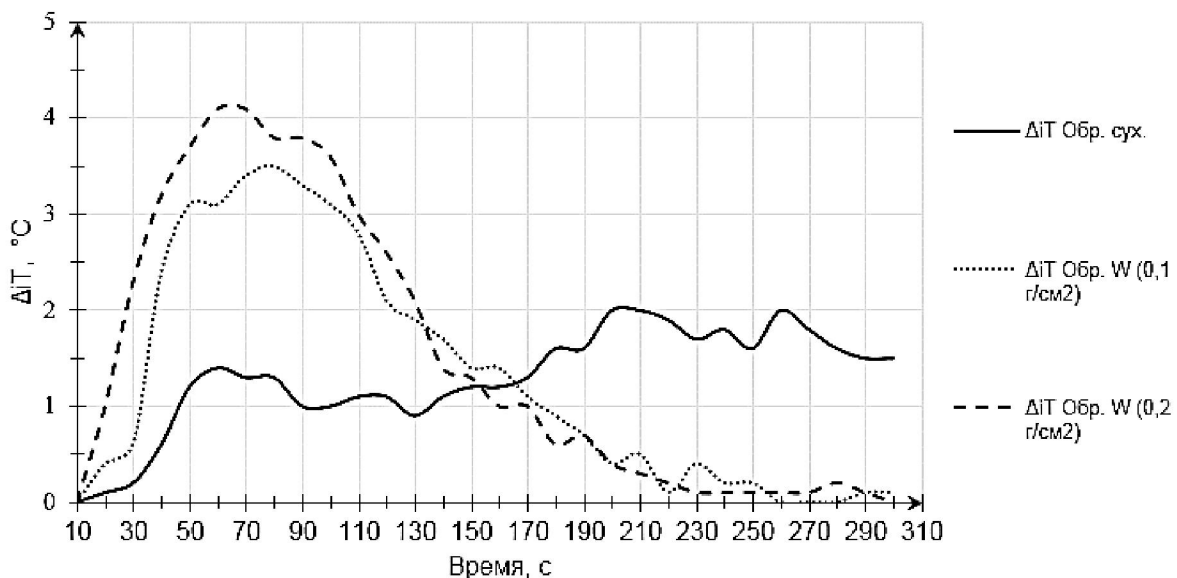


Рис. 2. Прирост температуры Δt на внутренней поверхности образцов с различной влажностью относительно предыдущего значения

⁴ ГОСТ Р 53264-2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. М: Стандартинформ, 2009. 37 с.

Изменение температуры на внутренней поверхности сухого материала (рис. 1) происходит линейно за счет практически полного отсутствия массообменных процессов, в частности, испарения влаги.

Изменение температуры на внутренней поверхности влажных образцов имеет иной характер. На графиках зависимости изменения температуры от времени для влажных образцов (рис. 1) можно выделить три участка:

– 0–30 с – участок с незначительным приростом температуры, наличие которого обуславливается прогревом слоев пакета материала;

– 30–170 с – участок быстрого роста температуры, обусловленный увеличением теплопроводности теплоизолирующего материала за счет заполнения пор материала водой, имеющей значительно больший коэффициент теплопроводности ($\lambda_{\text{воды}} = 0,6$ Вт/м·К, $\lambda_{\text{воздуха}} = 0,022$ Вт/м·К [3]), и отсутствием воздушных прослоек за счет слипания слоев пакета материалов.

– 170–300 с – участок теплового равновесия, при котором количество подводимого тепла равно количеству отводимого тепла, что обусловлено началом процесса испарения влаги из пакета материалов.

Количество влаги в пакете материалов оказывает значительное влияние на скорость возрастания и максимальное значение температуры на внутренней поверхности образцов. Чем более влажным является материал, тем шире временной диапазон, в котором скорость возрастания температуры является максимальной. С увеличением влажности пакета материалов также возрастает скорость нагрева и максимальное значение температуры, следовательно, уменьшается время защитного действия БОП.

Максимальное изменение скорости возрастания температур влажных образцов (рис. 2) лежит в следующих диапазонах:

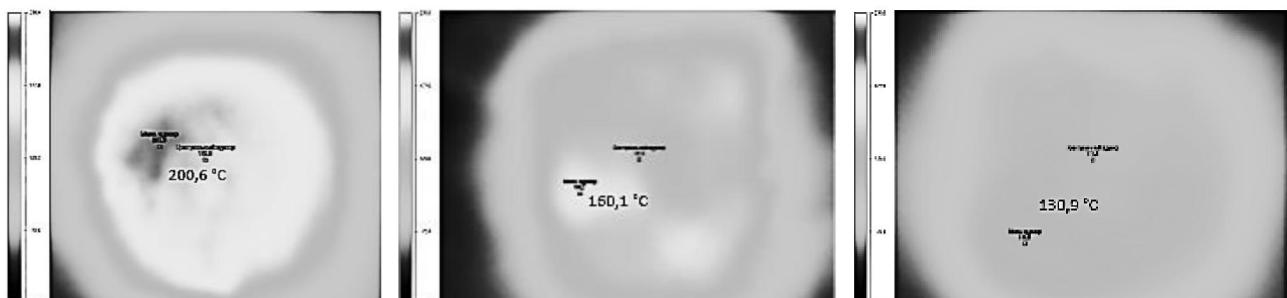
– для образцов с $W=0,1$ г/см² – 45–140 с. пик достигается при 90 с;

– для образцов с $W=0,2$ г/см² – 35–140 с. пик достигается при 80 с.

На рис. 3 представлены термограммы внешней поверхности образцов после нагрева в течение 300 с. Можно отметить, что температура внешней обогреваемой поверхности влажных образцов значительно ниже аналогичного показателя для воздушно-сухих. Исходя из представленных данных, можно утверждать, что высокая влажность пакета материалов одежды существенно снижает значение градиента температур между внутренней и внешней поверхностью образцов за счет увеличения теплопроводности и коэффициента теплоотдачи.

На рис. 4 представлена диаграмма времени достижения предельно допустимого значения температуры (50 С) на внутренней поверхности исследуемых образцов.

Из результатов проведенного исследования можно сделать вывод, что увлажнение пакета материалов БОП, возникающее в результате потовыделения пожарного при выполнении интенсивной работы в условиях воздействия высоких температур, приводит к заполнению воздушных пор жидкостью, слипанию слоев пакета материалов и естественной ликвидации воздушных прослоек между слоями. Таким образом, изменение теплофизических характеристик всего пакета материалов, в частности, увеличение его теплопроводности, влияет на характер нагрева в целом. Увлажнение внутреннего слоя – теплоизоляционной подкладки пакета материалов БОП, снижает время защитного действия более чем в 2 раза.



Обр. сух.

Обр. $W (0,1 \text{ г/см}^2)$

Обр. $W (0,2 \text{ г/см}^2)$

Рис. 3. Термограммы внешней поверхности образцов с различной влажностью

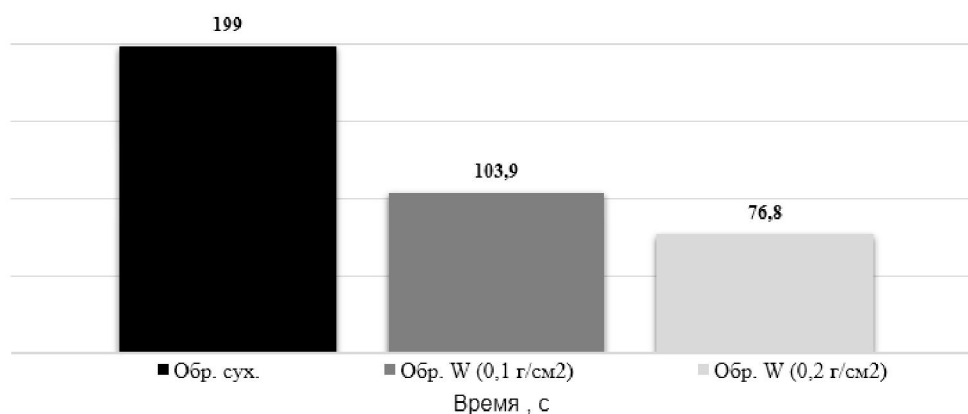


Рис. 4. Время достижения предельно допустимого значения температуры (50 C)

Результаты данного исследования свидетельствуют о необходимости детального изучения влияния эксплуатационных нагрузок на теплозащитные показатели БОП и разра-

ботки технических решений по совершенствованию состава материалов и конструктивного исполнения защитной одежды.

Список литературы

1. Сорокин Д. В., Никифоров А. Л., Шарabanova И. Ю., Циркина О. Г. Влияние температурно-влажностного режима подкостюмного пространства на защитные свойства боевой одежды пожарного // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2018. № 2(27). С. 44–48.
2. Михайлов Е. С., Логинов В. И. Влияние температурно-влажностного режима внутреннего пространства термоагрессивостойких костюмов на их теплозащитные свойства // Пожарная безопасность. 2014. №1. С. 56–62.
3. Луканин В. Н. Теплотехника. М.: Высш. шк., 2003. 671 с.

References

1. Sorokin D. V., Nikiforov A. L., Sharabanova I. Yu., Tsirkina O. G. Vliyaniye temperaturno-vlazhnostnogo rezhima podkostyumnogo prostranstva na zashchitnyye svoystva boyevoy odezhdy pozharnogo [Influence of temperature and humidity conditions of the undersuit space on the protective properties of fire fighting clothing]. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii (Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity)*, 2018, vol. 2(27), pp. 12–16.
2. Mikhaylov Ye. S., Loginov V. I. Vliyaniye temperaturno-vlazhnostnogo rezhima vnutrennego prostranstva termoagressivostoykikh kostyumov na ikh teplozashchitnyye svoystva [The influence of the temperature and humidity regime of the inner space of thermally aggressive suits on their heat-shielding properties]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2014, issue 1, pp. 56–62.
3. Lukanin V. N. *Teplotekhnika* [Heat engineering]. Moscow, Vyssh. shk., 2003. 671 p.

Сорокин Дмитрий Вячеславович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель

E-mail: element_37@mail.ru

Sorokin Dmitriy Vyacheslavovich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

lecturer
E-mail: element_37@mail.ru

Никифоров Александр Леонидович

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор
E-mail: anikiforoff@list.ru

Nikiforov Aleksandr Leonidovich

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of technical Sciences, professor
E-mail: anikiforoff@list.ru

Циркина Ольга Германовна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Tsirkina Olga Germanovna

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
doctor of technical Sciences, professor
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

Ульева Светлана Николаевна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент
E-mail: jivotyagina@mail.ru

Ulieva Svetlana Nikolaevna

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, docent
E-mail: jivotyagina@mail.ru

Шарабанова Ирина Юрьевна

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат медицинских наук, заместитель начальника академии по научной работе, доцент
E-mail: sharabanova@bk.ru

Sharabanova Irina Yurievna

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of medical sciences, deputy chief of academy on scientific work, docent
E-mail: sharabanova@bk.ru