

**ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО**

**FEATURES OF HEAT AND MASS-EXCHANGE PROCESSES
IN THE OPERATION OF THE FIRE FIGHTING CLOTHING**

*Д.В. СОРОКИН, А.Л. НИКИФОРОВ, С.Н. УЛЬЕВА, О.Г. ЦИРКИНА,
И.Ю. ШАРАБАНОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА*

*D.V. SOROKIN, A.L. NIKIFOROV, S.N. ULIEVA, O.G. TSIRKINA,
I.YU. SHARABANOVA, V.E. RUMYANTSEVA*

**(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: element_37@mail.ru; anikiforoff@list.ru; jivotyagina@mail.ru; ogtssirkina@mail.ru; varrym@gmail.com

В статье освещены вопросы теплообмена в системе "Человек - БОП - Окружающая среда" при разных температурных режимах окружающей среды. Приведены основные причины снижения теплозащитных свойств боевой одежды пожарного. Представлены результаты исследования контроля распределения температур в подкостюмном пространстве боевой одежды пожарного в условиях работы у очага пожара. Установлена зависимость влияния температурно-влажностного режима подкостюмного пространства боевой одежды пожарного на снижение ее теплозащитных свойств.

The article highlights the issues of heat and mass transfer in the system "Man - Fire fighting clothing - Environment" under different temperature conditions of the environment. The main reasons for reducing the heat-shielding properties of fire fighting clothing are given. The results of the study of the control of temperature distribution in the undersuit space of fire fighting clothing in the conditions of work at the fire center are presented. The dependence of the influence of the temperature and humidity conditions of the subtil space of the fire fighting clothing on the reduction of its heat-shielding properties is established.

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

Keywords: fire fighting clothing, package of materials, temperature and humidity conditions, temperature, heat flow, heat and mass transfer.

При работе на пожаре сотрудники пожарно-спасательных подразделений сталкиваются с воздействием на них опасных факторов пожара, в результате чего возникает риск для их жизни и здоровья. Основной причиной гибели и травмирования пожарных является воздействие на них высокой темпе-

ратуры [1]. При длительном пребывании в условиях повышенных тепловых воздействий человек может получить такие травмы, как ожог, тепловой удар. В литературных источниках не содержится систематизированных сведений о том, какие участки боевой одежды пожарного (БОП) в наименьшей сте-

пени защищают от ожогового травматизма. Как правило, ожоговые травмы носят местный характер и происходят в результате снижения теплозащитных свойств боевой одежды на определенном участке. Основными причинами снижения теплозащитных свойств БОП являются:

- повышенная влажность пакета материалов БОП, возникающая при внешнем воздействии огнетушащих веществ и внутреннем увлажнении в результате повышенного потоотделения пожарного во время выполнения тяжелой работы при высоких температурах;

- уменьшение толщины теплоизолирующего слоя БОП в результате механического воздействия. Сжатие пакета материалов происходит при сгибании коленных и локтевых суставов в сидячем положении, при воздействии веса дыхательного аппарата на область плеч, слипанию пакета материалов в результате многократных механических и термических воздействий, что приводит к отсутствию воздушной прослойки между материалами и, как следствие, к снижению теплозащитных свойств;

- 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 [2], [3].

Целью данной работы является выявление особенностей распределения температур в подкостюмном пространстве БОП, а также теплообменных процессов в системе "Человек - БОП - Окружающая среда", при различных режимах работы.

Теплообменные процессы, связанные с эксплуатацией боевой одежды пожарного, определяются разницей температур и влажности на поверхностях пакета материалов, а также теплофизическими характеристиками этих материалов. Таким образом, теплообменные процессы определяют параметры микроклимата подкостюмного пространства БОП и, как следствие, эффективность работы пожарного при выполнении боевых задач при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Существенное влияние на теплозащитные свойства БОП оказывает влажность ее материалов. Попадание влаги может осуществляться как со стороны окружающей среды, путем попадания огнетушащих веществ, так и с внутренней стороны, посредством потоотделения пожарного.

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, то есть 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). При обычном режиме температура окружающей среды ниже температуры тела пожарного, и влажность в подкостюмном пространстве составляет 30...50% (боевая одежда относительно сухая). Во время выполнения интенсивной работы пожарным 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.

Однако при рассмотрении боевого режима, когда температура окружающей среды значительно выше температуры тела пожарного, и влажность в подкостюмном пространстве приближена к 100%, теплообмен происходит иначе. Теплообмен нап-

равлен в сторону тела пожарного, за счет чего происходит рост температуры в подкостюмном пространстве и, как следствие, увеличение температуры тела пожарного. По-тоотделение 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. Возникает некий парадокс: в боевом режиме организм человека, осуществляя терморегуляцию при помощи потоотделения, ускоряет рост температуры в подкостюмном пространстве БОП [4].

Существующая методика испытания специальной защитной одежды [5] не учитывает влияния температурно-влажностно-

го режима подкостюмного пространства БОП на ее теплозащитные свойства. В связи с этим рассматриваемый вопрос также является актуальным.

Для определения особенностей неравномерного распределения температур в подкостюмном пространстве БОП нами был проведен натурный эксперимент в огневом симуляторе ПТС – Уголек М, позволяющем создавать условия работы у очага пожара. Исследование проводили на группе добровольцев и манекенах.

Контроль температур подкостюмного пространства БОП осуществлялся с помощью термометрических полосок 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 проводили на тренировочном занятии в течение 30 мин.

В табл. 1 приведены показатели температур в 11 точках контроля подкостюмного пространства БОП на человеке (Ч) и манекене (М).

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Точки контроля											
	голова		грудь		живот		поясница		спина		предплечье	
	Ч	М	Ч	М	Ч	М	Ч	М	Ч	М	Ч	М
1	62	46	49	47	37	37	37	37	44	37	49	37
2	60	46	49	46	37	38	37	37	44	37	49	37
3	62	44	47	47	37	37	37	37	44	37	47	37
4	64	46	53	46	40	38	39	37	45	37	49	39
5	61	45	49	45	39	37	40	37	42	38	47	37
6	63	44	50	47	41	37	41	38	42	37	48	38
7	65	44	54	47	40	37	39	37	43	37	49	38
8	59	45	48	46	37	39	37	37	41	37	46	37
9	60	43	48	47	38	37	37	37	43	37	48	37
10	62	44	49	48	37	37	38	38	45	38	48	37
X	61,8	44,7	49,6	46,6	38,3	37,4	38,2	37,2	43,3	37,2	48	37,4
σ	1,87	1,06	2,22	0,84	1,57	0,69	1,48	0,42	1,34	0,42	1,05	0,69
m	0,35	0,11	0,49	0,07	0,29	0,05	0,22	0,02	0,18	0,02	0,11	0,05
t	25,1		4		1,7		2,1		13,9		26,5	
№ п/п	Точки контроля											
	плечо		надплечье		кисть		бедро		голень			
	Ч	М	Ч	М	Ч	М	Ч	М	Ч	М		
1	49	37	60	37	63	37	50	40	37	37		
2	49	38	62	39	63	37	53	39	37	37		
3	47	37	62	37	63	37	55	41	37	39		
4	50	37	64	37	60	38	55	39	39	37		
5	47	38	60	38	61	37	51	40	38	38		
6	48	37	63	37	62	38	54	41	38	37		
7	50	37	61	37	60	38	52	41	37	38		
8	46	38	59	37	59	37	50	42	39	38		
9	48	37	61	37	62	37	51	41	37	37		
10	49	37	60	37	62	38	50	41	38	37		
X	48,3	37,3	61,2	37,3	61,5	37,4	52,1	40,5	37,7	37,5		
σ	1,34	0,48	1,55	0,67	1,43	0,52	2,02	0,97	0,82	0,71		
m	0,18	0,02	0,24	0,04	0,2	0,03	0,41	0,09	0,07	0,05		
t	25		45,1		50,2		16,3		0,6			

П р и м е ч а н и е. X – средняя арифметическая выборки, m – средняя ошибка выборки, σ – стандартное отклонение, t – критерий Стьюдента.

Для определения разницы температур в подкостюмном пространстве человека и манекена был введен относительный показатель отличия температур ΔT , который вычисляется по формуле:

$$\Delta T = \frac{T_{\text{ч}} - T_{\text{м}}}{T_{\text{ч}}} \cdot 100\%,$$

где ΔT – относительный показатель отличия температур, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{ч}}$ – температура в подкостюмном пространстве на теле человека, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{м}}$ – температура в подкостюмном пространстве на манекене, $^{\circ}\text{C}$.

Результаты проведенных исследований показывают, что температура в подкостюмном пространстве БОП на теле человека практически во всех точках выше, чем на манекене. Относительный показатель отличия температур лежит в диапазоне от 0% до 40%. В результате оценки значений, полученных с помощью t-критерия Стьюдента, наблюда-

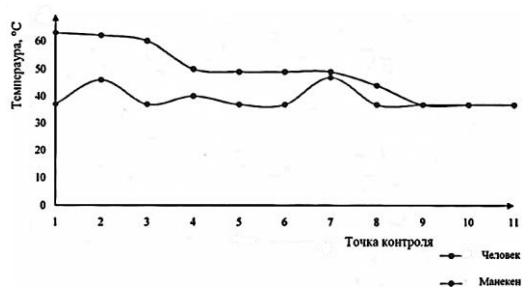


Рис. 1

На рис. 1 представлен график распределения температур в подкостюмном пространстве БОП на человеке и манекене. Здесь точки контроля: 1 – кисть; 2 – голова; 3 – надплечье; 4 – бедро; 5 – плечо; 6 – предплечье; 7 – грудь; 8 – спина; 9 – живот; 10 – поясница; 11 – голень.

На рис. 2 представлен график изменения относительного показателя отличия температур в точках контроля на человеке и манекене (точки контроля аналогичны приведенным на рис. 1).

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования устойчивости боевой одежды пожарного к воздейст-

ется, что большинство значений расположено в зоне значимости. Это свидетельствует о том, что температурно-влажностный режим подкостюмного пространства БОП существенно влияет на теплозащитные характеристики боевой одежды, что значительно сокращает время работы при нормируемых тепловых воздействиях.

В ходе исследования также было выявлено, что наиболее уязвимыми для теплового воздействия участками тела являются голова, кисти рук, область груди и плеч (в местах прилегания плечевых ремней и дыхательного аппарата). Необходимо отметить, что, как правило, предельно допустимый показатель температур наблюдался в местах плотного прилегания БОП к телу испытуемого. Также было выявлено, что значения температур на участках БОП, подвергшихся намоканию в результате потоотделения, были значительно выше, чем на сухих участках.

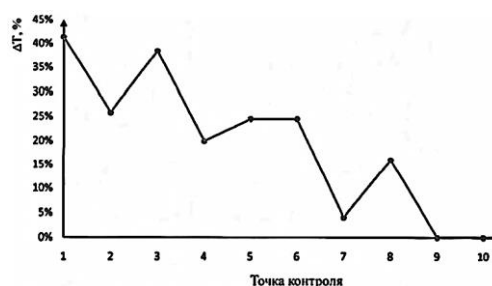


Рис. 2

вию высоких температур в условиях, максимально приближенных к условиям тушения пожара. Результаты показали значительное влияние температурно-влажностного режима подкостюмного пространства БОП на теплозащитные характеристики боевой одежды.

2. Показано, что температура в подкостюмном пространстве БОП на теле человека практически во всех точках значительно выше, чем на манекене. Наибольшая разница составляет 40% и наблюдается в области надплечья и головы. Исследования показывают, что теплозащитные свойства БОП в условиях сложного нестационарного теплообмена значительно ниже вследствие реальных эксплуатационных нагрузок, связанных с физиологическими особенностями кон-

кретного человека, что сокращает время работы при нормируемых тепловых воздействиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выписка из федеральной базы данных "Пожары". Основные статистические показатели по пожарам, произошедшим в 2011-2015 гг. и за 9 мес. 2016 г. в Российской Федерации. – ВНИИ ПО, 2016.

2. Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Шарбанова 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, №1 (26). С.44...48.

3. Final Report of Thermal Capacity of Fire Fighter Protective Clothing. Fire Protection Research Foundation. – 2008.

4. Бוליбух Б.В., Хмель М., Мазур Ю. Модель теплового состояния пожарного в защитной одежде // Bezpieczerstwo i Technika Pozarnicza. – Vol. 41 Issue 1, 2016. P. 37...46.

5. ГОСТ Р 53264–2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартинформ, 2009.

REFERENCES

1. Vypiska iz federal'noy bazy dannykh "Pozhary". Osnovnye statisticheskie pokazateli po pozharom, proizoshedshim v 2011-2015 gg. i za 9 mes. 2016 g. v Rossiyskoy Federatsii. – VNIИ PO, 2016.

2. Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Sharabanova I.Yu., Tsirkina O.G. Vliyanie temperaturno-vlazhnostnogo rezhima podkostyumnogo prostranstva na zashchitnye svoystva boevoy odezhdy pozharnogo // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MChS Rossii "Sovremennye problemy grazhdanskoй zashchity". – 2018, №1 (26). S.44...48.

3. Final Report of Thermal Capacity of Fire Fighter Protective Clothing. Fire Protection Research Foundation. – 2008.

4. Bolibrukh B.V., Khmel' M., Mazur Yu. Model' teplovogo sostoyaniya pozharnogo v zashchitnoy odezhde // Bezpieczerstwo i Technika Pozarnicza. – Vol. 41 Issue 1, 2016. P. 37...46.

5. GOST P 53264–2009. Tekhnika pozharnaya. Spetsial'naya zashchitnaya odezhda pozharnogo. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Standartinform, 2009.

Рекомендована кафедрой нанотехнологий, физики и химии ИВГПУ. Поступила 03.12.18.