

## ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР ПАКЕТОВ ТЕРМОСТОЙКОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ

КОЛОСНИЧЕНКО Марина<sup>1</sup>, ЦЕСЕЛЬСКАЯ Татьяна<sup>2</sup>,  
КОЛОСНИЧЕНКО Елена<sup>3</sup>, ОСТАПЕНКО Наталья<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**Резюме:** В статье представлены результаты экспериментальных исследований показателей качества материалов специальной термозащитной одежды рабочих нефтегазового комплекса с целью формирования рациональных структур пакетов. Характеризованы современные зарубежные образцы термостойких материалов верха, теплоизоляционной прокладки и подкладки с задекларированными производителями показателями. Аналитически выявлены весомые показатели качества материалов и пакетов спецодежды, среди которых разрывное усилие, удлинение на момент разрыва, изменение линейных размеров, коэффициент воздухопроницаемости, толщина, поверхностная плотность, стойкость к прожиганию, термическое сопротивление. Обоснована целесообразность сравнительного анализа их значений до и после действия тепловой нагрузки в течение определенного времени. На основании результатов проведенных за стандартизированными методиками экспериментальных исследований весомых показателей надежности и эргономичности термозащитных пакетов материалов сформированы рациональные структуры пакетов. Анализ полученных результатов позволил установить характер изменения свойств тканей после тепловой обработки, учесть их при проектировании специальной одежды и сформировать рациональные структуры пакетов с одним и двумя теплоизоляционными слоями.

**Ключевые слова:** показатели качества материалов и пакетов, специальная термозащитная одежда, тепловая нагрузка.

При авариях на объектах нефтепереработки наиболее опасными для рабочих являются взрывы и пожары с выделением большого количества тепла и быстрым движением тепловых потоков, высоким уровнем теплового излучения, быстрым расширением зоны пожара в условиях компактного размещения технологических аппаратов и оборудования. Ликвидация аварий нуждается в немедленном реагировании и принятии соответствующих решений рабочими, которые проводят аварийно-спасательные работы, надежная защита которых является первоочередным заданием безопасности труду.

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Создание новых моделей аварийно-спасательной одежды является закономерным явлением, которое происходит при появлении новых материалов, и обусловлено увеличением требований потребителей к специальной одежде с отмеченными свойствами. Поэтому это остается сложной научной проблемой, решение которой заключается в комплексном использовании данных физиологии, гигиены, теплофизики, текстильного материаловедения, конструирования, тех-

нологии и тому подобное. Целью работы является определение теплофизических и физико-механических характеристик пакетов материалов путем их экспериментального исследования с целью формирования рациональных структур пакетов аварийно-спасательной специальной одежды.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно [1], что защита рабочего при условиях пассивного способа от комплекса факторов агрессивной окружающей среды обеспечивается рациональной структурой пакетов материалов, конструкцией одежды и технологией изготовления. Степень влияния разных факторов на свойства материалов неодинакова и может быть определена экспериментальным методом. Следовательно, исследования проведены с целью определения изменений характеристик пакетов материалов, которые происходят в процессе эксплуатации. Рациональный подбор структуры пакетов материалов является сложной задачей, так как аварийно-спасательная специальная одежда предусматривает соответствие одновременно многим требованиям, которые часто противоречат друг друга.

При формировании структуры пакета известным [2] является расположения термостойкого, теплоизоляционного и подкладочного слоев. Для исследований отобраны образцы термостойких материалов верха, теплоизоляционной прокладки и подкладки с такими характеристиками как: сырьевой состав, поверхностная плотность, толщина (табл. 1).

**Таблица 1:** Характеристика материалов для формирования пакетов аварийно-спасательной одежды

Название слоя	Кодированное обозначение	Название материала	Сырьевой состав, %	Поверхностная плотность $\rho$ , г/м <sup>2</sup>	Толщина $b \cdot 10^{-3}$ , м
1	2	3	4	5	6
Термостойкий	T <sub>2</sub>	Номекс (Nomex BV-107/890161)	Nomex 94 Kevlar 5 Static-control 1	230	0,45
	T <sub>5</sub>	Номекс (Nomex comfort N.307 220)	Nomex 93 Kevlar 5 P.140 2	220	0,45
	T <sub>6</sub>	Номекс (Nomex ADV 240 GR I RS)	Para-aramida 60 Nomex 40	240	0,60
Теплоизоляционный	B <sub>1</sub>	Иглопробивное полотно ватиновое	Вовна 55 Бавовна 20 Bic 25	110	3,5
	B <sub>2</sub>	Иглопробивное полотно Номекс (Nomex Serie 100)	Viscose ignifuga 50 Nomex 43 Kevlar 5 P.140 2	100	3,0

**Таблица 1:** Продолжение

1	2	3	4	5	6
Подкладочный	П <sub>1</sub>	Бязь гладкокрашенная арт. 1667/25381	Бавовна 100	195	0,41
	П <sub>2</sub>	Номекс (Nomex TER 135)	Nomex III N.302 50 Viscose FR 50	135	0,38

Анализ условий эксплуатации специальной одежды рабочими нефтеперерабатывающих предприятий позволил значительно сузить ассортимент термостойких материалов для проведения экспериментальных исследований в результате специфических потребностей производственной среды. Появление новых текстильных термостойких материалов дает возможность сравнивать их характеристики с существующими образцами как на этапе подбора структур материалов, так и в процессе эксплуатации.

Из предложенных материалов сформированы пакеты, определены значения показателей и после анализа отобраны наилучшие пакеты с кодированным составом Т<sub>5</sub>В<sub>2</sub>П<sub>2</sub>, Т<sub>2</sub>В<sub>1</sub>П<sub>1</sub>, Т<sub>6</sub>В<sub>2</sub>П<sub>2</sub>. Одним из опаснейших факторов окружающей среды является высокая температура, в результате чего возникает потребность в определении изменений значений показателей материалов и пакетов именно после действия тепловой нагрузки.

Исследования проведены в аккредитованной аналитическо-опытной испытательной лаборатории «Текстиль – ТЕСТ» за стандартизованными методиками при температуре  $T=(170 \pm 5)$  °С в течение  $t=15$  минут. По результатам экспериментов проведена сравнительная характеристика по показателям: разрывное усилие, удлинение на момент разрыва, изменение линейных размеров пакетов материалов, коэффициент воздухопроницаемости, толщина, поверхностная плотность (табл. 2). Полученные данные обработаны с помощью методов математической статистики. Результаты испытаний пакетов аварийно-спасательной специальной одежды приведены в таблице 2.

**Таблица 2:** Результаты испытаний пакетов аварийно-спасательной специальной одежды

Наименование показателя, единицы измерения		Среднее значение показателя для пакета с кодированным составом		
		Т <sub>5</sub> В <sub>2</sub> П <sub>2</sub>	Т <sub>2</sub> В <sub>1</sub> П <sub>1</sub>	Т <sub>6</sub> В <sub>2</sub> П <sub>2</sub>
1		2	3	4
Коэффициент воздухопроницаемости, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с	до тепловой нагрузки $T = (22 \pm 2)$ °С	27,8± 1,1	22,6±1,2	90,04± 4,1
	после тепловой нагрузки $T = (170 \pm 5)$ °С, $t=15$ мин	29,7± 1,6	22,3± 1,8	93,05±4,3
Изменение линейных размеров, %	после тепловой нагрузки $T = (170 \pm 5)$ °С, $t=15$ мин			
	по длине	+0,1	-0,1	0,0
	по ширине	-0,1	-0,2	-0,1

**Таблица 2:** Продолжение

		1	2	3	4
Толщина при нагрузке, $\cdot 10^{-3}$ , м	до тепловой нагрузки $T = (22 \pm 2)^\circ\text{C}$	100 кПа	4,00 $\pm$ 0,07	4,87 $\pm$ 1,15	4,08 $\pm$ 0,27
		1000 кПа	2,70 $\pm$ 0,04	2,45 $\pm$ 0,16	2,72 $\pm$ 0,15
	после тепловой нагрузки $T = (170 \pm 5)^\circ\text{C}$ , $\tau = 15$ мин	100 кПа	4,13 $\pm$ 0,15	5,48 $\pm$ 0,19	4,15 $\pm$ 0,08
		1000 кПа	2,88 $\pm$ 0,23	3,10 $\pm$ 0,21	2,76 $\pm$ 0,20
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	до тепловой нагрузки $T = (22 \pm 2)^\circ\text{C}$		518 $\pm$ 9	662 $\pm$ 6	534 $\pm$ 2
	после тепловой нагрузки $T = (170 \pm 5)^\circ\text{C}$ , $\tau = 15$ мин		514 $\pm$ 3	661 $\pm$ 7	524 $\pm$ 3
Разрывное усилие, Н	до тепловой нагрузки $T = (22 \pm 2)^\circ\text{C}$	по основе	163 $\pm$ 6	197 $\pm$ 4	245 $\pm$ 3
		по утку	156 $\pm$ 1	116 $\pm$ 6	200 $\pm$ 7
	после тепловой нагрузки $T = (170 \pm 5)^\circ\text{C}$ , $\tau = 15$ мин	по основе	173 $\pm$ 6	199 $\pm$ 5	242 $\pm$ 5
		по утку	167 $\pm$ 4	126 $\pm$ 5	183 $\pm$ 6
Удлинение на момент разрыва, %	до тепловой нагрузки $T = (22 \pm 2)^\circ\text{C}$	по основе	37 $\pm$ 1	16 $\pm$ 2	19 $\pm$ 1
		по утку	41 $\pm$ 2	17 $\pm$ 2	7 $\pm$ 1
	после тепловой нагрузки $T = (170 \pm 5)^\circ\text{C}$ , $\tau = 15$ мин	по основе	41 $\pm$ 2	20 $\pm$ 1	17 $\pm$ 1
		по утку	48 $\pm$ 1	20 $\pm$ 1	6 $\pm$ 1

Очевидной научно-технической проблемой при выборе рациональных пакетов одежды выбранного назначения является формирование их структуры, что требует обоснования показателей и их определения для современных материалов. Поэтому, по результатам исследований выбраны рациональные пакеты, которые состоят из материалов Nomex на основе метараamidных волокон как наилучшие. Обоснована целесообразность использования этих материалов как таковых, что имеют высокие значения показателей качества. Обязательным при разработке спецодежды является применение нательного белья и производственно одежды. Сформированные пакеты с кодируемым составом  $T_2V_1P_1$ ,  $T_5V_2P_2$  и  $T_6V_2P_2$  в полной мере отвечают определенным требованиям к специальной одежде. Перечисленные структуры пакетов приняты как базовые и при необходимости они могут быть дополнены теплоизоляционными и (или) водоупорным, амортизационным слоем при условиях действия соответствующих опасных и вредных производственных факторов. Кроме того, реализован принцип «термостойкости» при формировании структуры пакетов одежды с целью сохранения и усиления теплофизических характеристик в результате использования метараamidных волокон во всех слоях пакета (термостойкого, теплоизоляционного и подкладочного). Известно [3,4], что для комфортного теплового состояния человека в условиях нагревающей среды необходимым является уменьшение притока тепловой

энергии к поверхности тела путем использования материалов с низким коэффициентом теплопроводности и высокой стойкостью к прожиганию. Одним из приоритетных теплофизических характеристик материалов одежды является термическое сопротивление, которое прямо пропорционально зависит от толщины пакета. Также не менее значимыми показателями являются стойкость к прожиганию пакета и длительность безопасной работы работника (табл. 3). Согласно результатам проведенных экспериментов очевидным является то, что при введении второго теплоизоляционного слоя термическое сопротивление увеличивается в 1,2 раза, что позволяет рабочему увеличить время пребывания в опасной зоне без риска для жизни. Очевидной является необходимость в проведении экспериментального исследования по определению длительности безопасной работы человека. Испытания проведены по известной методике в лаборатории средств индивидуальной защиты кафедры эргономики и проектирования одежды КНУТД [5]. Согласно методике проведения экспериментальных исследований исходными данными является температура  $T_{окр.ср.}=(170\pm 5)^{\circ}\text{C}$  в камере термощафа, температура цилиндра, имитирующего тело человека,  $T_{цил.}=(33\pm 1)^{\circ}\text{C}$ , пакеты с одним и двумя слоями теплоизоляционного материала ( $B_1$  та  $B_2$ ). Измерение температуры в слоях пакета зафиксировано ежесекундно. После достижения предельно-допустимой температуры воздуха пододежного пространства  $T_{пр.прип.}=(42\pm 1)^{\circ}\text{C}$  эксперимент проводить нецелесообразно. Для определения длительности безопасной работы человека в специальной одежде выбрано 12 пакетов по 10 образцов каждого. Пакеты, в которых последовательность слоев является известной, сформированы с учетом бельевой и производственной одежды. Результаты исследования по определению длительности безопасной работы человека в специальной одежде приведены в таблице 3.

**Таблица 3:** Теплофизические показатели пакетов материалов аварийно-спасательной специальной одежды

Кодиру- емый состав пакета	Толщина, $\delta \cdot 10^{-3}$	Стойкость к прожига- нию, с	Термическое сопротивле- ние, R, $\text{m}^2\text{K}/\text{Вт}$	Длительность безопасной работы при температуре в шкафу $(170\pm 5)^{\circ}\text{C}$ , с
$T_2B_1\Pi_1$	$4,90\pm 0,17$	$28\pm 1$	$0,340\pm 0,031$	$40\pm 3$
$T_2B_1B_1\Pi_1$	$7,93\pm 0,24$	$34\pm 1$	$0,413\pm 0,020$	$72\pm 4$
$T_5B_2\Pi_2$	$4,05\pm 0,17$	$28\pm 1$	$0,337\pm 0,019$	$37\pm 3$
$T_5B_2B_2\Pi_2$	$7,28\pm 0,14$	$36\pm 2$	$0,401\pm 0,015$	$67\pm 2$
$T_6B_2\Pi_2$	$4,14\pm 0,23$	$30\pm 1$	$0,346\pm 0,015$	$35\pm 3$
$T_6B_2B_2\Pi_2$	$7,44\pm 0,21$	$37\pm 2$	$0,428\pm 0,026$	$66\pm 5$

Таким образом, после статистической обработки результатов экспериментальных исследований по определению длительности безопасной работы человека проведено их оценивание, обоснован выбор и рекомендованы для дальнейших исследований пакеты с одним и двумя теплоизоляционными слоями. По результатам исследований установлено, что наибольшее значение длительности безопасной работы имеют пакеты, в состав которых входят два слоя теплоизоляционного материала. При сравнительном анализе пакетов с двумя теплоизоляционными слоями предпочтение оказано пакетам с кодируемым

составом  $T_2V_1V_1P_1$  и  $T_5V_2V_2P_2$  как таковым, которые являются наилучшими среди избранных.

По результатам сопоставимого оценивания пакетов материалов можно отметить стабильность характеристик структур пакетов под действием высокой температуры в течение отмеченного времени пребывания. Анализ определенных теплофизических и физико-механических характеристик пакетов материалов позволил сформировать структуру и рекомендовать их для разработки аварийно-спасательной специальной одежды украинского производства.

### 3. ВЫВОДЫ

Установлен характер изменений физико-механических показателей разных пакетов после теплового воздействия при температуре  $T=(170 \pm 5)^\circ\text{C}$  в течение  $t=15$  мин с целью прогнозирования свойств пакетов материалов специальной одежды и проведен их сравнительный анализ. Следует отметить уменьшение значений поверхностной плотности в результате выгорания поверхностно-отделочных аппретов для обеспечения технологической обработки волокон. На основе анализа значений разрывного усилия и удлинения на момент разрыва почти для большинства пакетов имеет место незначительный их рост в пределах нормативных значений после теплового воздействия, что обусловлено небольшой термоусадкой. Экспериментально подтверждено, что длительность безопасной работы при температуре в термошкафу  $T_{\text{окр.ср}}=(170 \pm 5)^\circ\text{C}$  для пакетов з кодированным составом  $T_2V_1V_1P_1$  та  $T_5V_2V_2P_2$  составляет соответственно  $t=(72 \pm 4)$  с та  $t=(67 \pm 2)$  с при толщине  $\delta=(7,93 \pm 0,24)$  мм та  $\delta=(7,28 \pm 0,14)$  мм имеет наилучшие теплофизические характеристики из исследуемых. Следовательно, по результатам проведенных экспериментальных исследований теплофизических свойств сформированы рациональные структуры пакетов специальной одежды. Обоснован выбор пакета одежды, который состоит из материалов на основе метаарамидных волокон, и рекомендован для применения в проектной разработке аварийно-спасательной специальной одежды пакет с термостойким материалом верха Nomex comfort N.307 220, теплоизоляционной прокладкой Nomex Serie 100, подкладкой Nomex TER 135. Установлено, что сформированный пакет имеет толщину  $\delta=4,05 \pm 0,17$  мм, термическое сопротивление  $R=(0,337 \pm 0,019)$  м<sup>2</sup>К/Вт и длительность безопасной работы человека  $t=(36 \pm 2)$  с при температуре  $T_{\text{окр.ср}}=(170 \pm 5)^\circ\text{C}$  наиболее отвечает определенным требованиям к одежде.

### 4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Цесельська Т.В.; Остапенко Н.В.; Колосніченко М.В.: Дослідження показників якості матеріалів для спеціального термозахисного одягу, *Проблеми легкої та текстильної промисловості України*, (2011) № 2 (18), С. 206 – 211.
- [2] Гущина К.Г.; Беляева С.А.; Командрикова Е.Я. и др.: *Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества*. Легкая и пищевая промышленность, М (1984), 254 с.
- [3] Романов В. Е.: *Системный подход к проектированию спецодежды*. Легкая и пищевая промышленность, М. (1981), 128 с.
- [4] Колесников П.А.: *Теплозащитные свойства одежды*. Легкая индустрия, М. (1965), 346 с.