

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ИНСОЛЯЦИИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШВЕЙНЫХ НИТОК ИЗ ПАРА-АРАМИДНЫХ ВОЛОКОН

В.П. Довыденкова, В.И. Ольшанский, Н.М. Дмитрикович

Качество узлов и соединений специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий и открытого пламени, как и любого другого вида одежды, определяется целым комплексом показателей, наиболее важными из которых являются свойства применяемых основных и скрепляющих материалов (швейных ниток).

Использование новых химических полимеров позволило существенно расширить традиционный ассортимент, разработать нитки со специальными свойствами: стойкие к действию химических веществ, действиям высоких температур, электропроводящие нитки.

Среди перспективных видов химических волокон и нитей широкое использование получили пара-арамидные волокна и нити Русар (Россия), Kevlar (США), Twaron (Нидерланды) и т. д. Они применяются сегодня не только для производства различных видов изделий технического назначения: тяжело нагруженных текстильных материалов, средств спасения и безопасности (страховочные пояса, канаты, тросы и т. д.), оптических и электрических кабелей, изделий баллистической защиты сверхпрочных композитов, но и для выработки скрепляющих материалов, предназначенных для сверхпрочного соединения деталей одежды, эксплуатирующейся в экстремальных условиях.

Для изготовления теплоотражательных костюмов пожарных, узлы и соединения которых должны обладать высокой прочностью, часто используются швейные нитки, состоящие на 100 % из пара-арамидного волокна Du Pont Kevlar®.

Нитки из пара-арамидных волокон обладают высокой механической прочностью (разрывная нагрузка 280 – 550 кг/мм²), высоким уровнем огне- и термостойкости. Для них характерны почти полная безусадочность при высоких температурах (только при достижении температуры 400 – 450 °С наблюдается усадка, не превышающая 3 – 4 %) и высокая устойчивость к воздействию открытого пламени (до 500 °С; после удаления из пламени волокно гаснет, что обусловлено высоким кислородным индексом – 38 – 40 % и высокой температурой разложения – 450 – 550 °С). Кроме того, эти волокна мало меняют свои свойства в мокром состоянии, так как они достаточно гидрофобны [1, 2].

Существенным недостатком пара-арамидных волокон является их чувствительность к ультрафиолетовому (UV) излучению.

Анализ литературных источников показал, что информации о воздействии UV излучения на изменение эксплуатационных свойств ниток с течением времени имеется крайне мало. Производители прогнозируют лишь потерю прочности примерно на 50 % через 40 – 60 недель после воздействия ультрафиолета. До настоящего времени остаются недостаточно исследованными вопросы хранения, эксплуатации такого рода ниток.

Следовательно, использование дорогостоящих огнезащитных тканей с определёнными теплофизическими и эксплуатационными свойствами для изготовления защитной одежды пожарных не гарантирует сохранение таких же высоких защитных свойств готовых образцов без учёта динамики изменения аналогичных показателей скрепляющих материалов.

Целью данного исследования являлось изучение и оценка изменения прочностных показателей (разрывной нагрузки и удлинения при разрыве) швейных ниток из пара-арамидных волокон, применяемых при изготовлении теплоотражательных и теплозащитных костюмов пожарных отечественного производства. Именно эти

показатели, являющиеся механическими характеристиками свойств швейных ниток, служат основными критериями их качества.

Для проведения исследования использовались сверхпрочные швейные нитки Protos, состоящие из пара-арамидного волокна Du Pont Kevlar® (100 %), технические характеристики которых представлены в таблице 1 [3].

Согласно ГОСТ 6611.2 – 73 [4] для определения разрывной нагрузки (P , сН) и удлинения при разрыве (L , %) предварительно с одной бобины ниток было отобрано по 5 проб. Исследование проводилось в течение двенадцати недель, соответственно объём всей выборки составил 60 шт. Длина каждой пробы определялась с учётом расстояния между зажимами разрывной машины и составляла 1000 ± 1 мм.

Таблица 1 – Техническая характеристика швейных ниток Kevlar (100 %)

Арти-кул	Номер, №	Результу-рующая плотность, текс	Линейная плотность, децитекс	Разрыв-ная нагрузка, сН	Разрывное удлинение, %	Рекомен-дуемые номера игл
Protos 75	75	60	200×3	5200	3-5	110-130

Исследуемые пробы размещались на ровной гладкой белой поверхности под силикатным (оконным) стеклом толщиной 4 мм, при комнатной температуре подвергались воздействию естественного освещения.

Известно, что около 2 % солнечного спектра составляют ультрафиолетовые волны длиной 0,28 – 0,38 мкм, невидимые для глаз человека. Они, как отмечают производители, способны разрушать слабые водородные связи и уменьшать прочность волокна.

Силикатное стекло практически полностью задерживает дальний (диапазон длин волн 10 – 200 нм), средний (диапазон длин волн 290 – 350 нм) ультрафиолет и коротковолновую часть (диапазон длин волн 200 – 290 нм) ближнего, но пропускают более 80 % (рисунок 1) длинноволновой части (диапазон длин волн 350 – 400 нм) ближнего ультрафиолета [5].

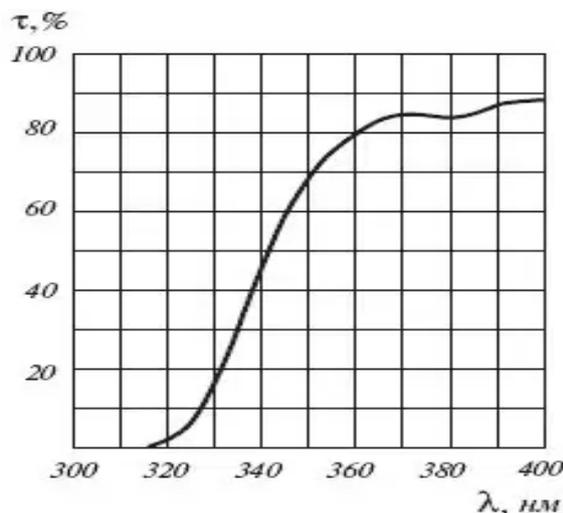


Рисунок 1 – Спектральное пропускание обычного силикатного стекла в ультрафиолетовой области спектра

Разрывная нагрузка и удлинение при разрыве определялись через каждые две недели методом разрыва одной нити. Образцы заправлялись в зажимы разрывной машины РМ-30-1 (дата аттестации 28.03.12, зав № 74). Предварительная нагрузка устанавливалась с учётом номинальной линейной плотности и составляла 30 сН.

Результаты экспериментов представлены на рисунках 2 – 4.

Статистическая обработка результатов исследований была выполнена в табличном редакторе Microsoft Excel. Значения коэффициентов вариации по разрывной нагрузке и удлинению при разрыве в течение исследуемого периода приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение коэффициента вариации по разрывной нагрузке и разрывному удлинению в исследуемых выборках

	Период времени (τ), недели						
	0	2	4	6	8	10	12
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	6	6,2	9,9	9,2	9,5	8,4	8,5
Коэффициент вариации по разрывному удлинению, %	5,7	10,7	7,5	6,8	4,4	5,5	6,1

Совокупность данных в каждой из выборок однородна, так как коэффициент вариации не превышает 33 %.

Экспериментальные данные изменения прочности швейных ниток из пара-арамидного волокна Kevlar (100 %) через каждые две недели после непрерывного воздействия длинноволновой составляющей ближнего ультрафиолета солнечного спектра излучения аппроксимированы экспоненциальной зависимостью изменения разрывной нагрузки от времени воздействия естественной инсоляции (рисунок 2) и выражены уравнением:

$$Y = 5625,3e^{-0,094x} \quad (1)$$

Коэффициент детерминации, определяющий достоверность линии аппроксимации, (R2) составляет 0,95.

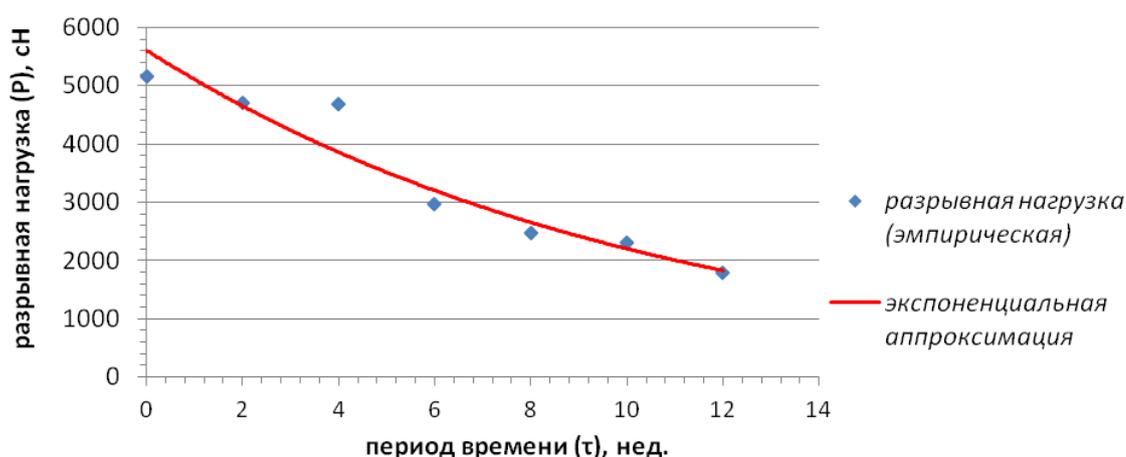


Рисунок 2 – Зависимость изменения разрывной нагрузки от времени воздействия естественной инсоляции

При соединении деталей одежды швейные нитки в зависимости от структуры и сырьевого состава стачиваемых материалов испытывают силовые нагрузки, колеблющиеся в пределах 150 – 350 сН, а температура нагрева иглы составляет более 400 °С. При таких воздействиях на нитку она должна обладать не только прочностью, но и стабильным разрывным удлинением. От величины и постоянства удлинений при разрыве зависит качество шва, обрывность ниток при пошиве, производительность швейного оборудования.

Экспериментальные данные изменения удлинения при разрыве в течение двенадцати недель непрерывного воздействия естественной инсоляции аппроксимированы экспоненциальной зависимостью (рисунок 3) и выражены уравнением 2.

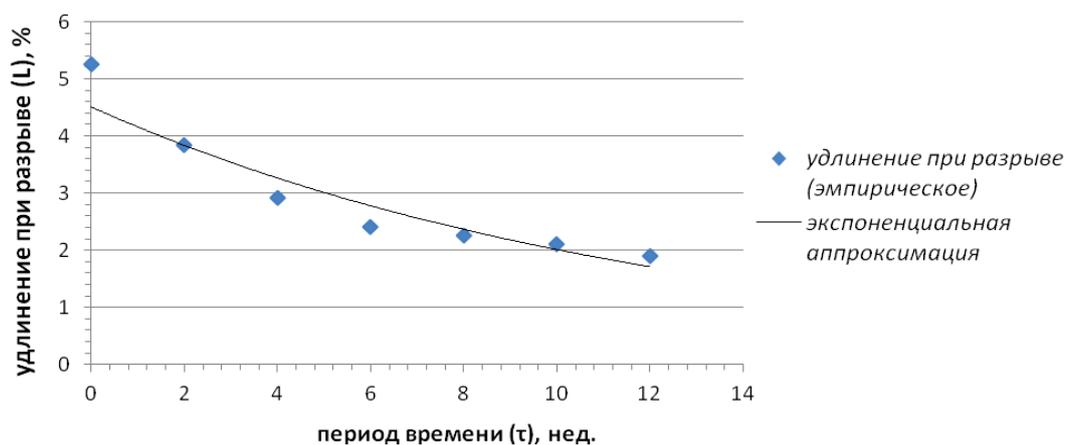


Рисунок 3 – Зависимость изменения удлинения при разрыве от времени воздействия естественной инсоляции

$$Y = 4,5071e^{-0,081x} . \quad (2)$$

Коэффициент детерминации (R2) составляет 0,91.

Анализ полученных данных показал, что при воздействии естественной инсоляции в течение двенадцати недель прочность швейных ниток из пара-арамидных волокон снижается на 65,9 % (рисунок 4).

Интенсивный процесс старения такого рода скрепляющих материалов при непрерывном воздействии солнечного излучения объясняется проявлением эффекта пластификации. Ослабление межмолекулярных связей между цепями макромолекул полимера за счёт изменения химической природы элементарных звеньев в них приводит к снижению концентрации полярных групп, обуславливающих образование этих связей. Следствием процесса пластификации является резкое падение прочности (на 42,7 %) на шестой неделе проведения эксперимента и наблюдающийся на отрезке $6 \leq \tau \leq 12$ недель процесс деструкции (нарушение структуры исследуемых швейных ниток).

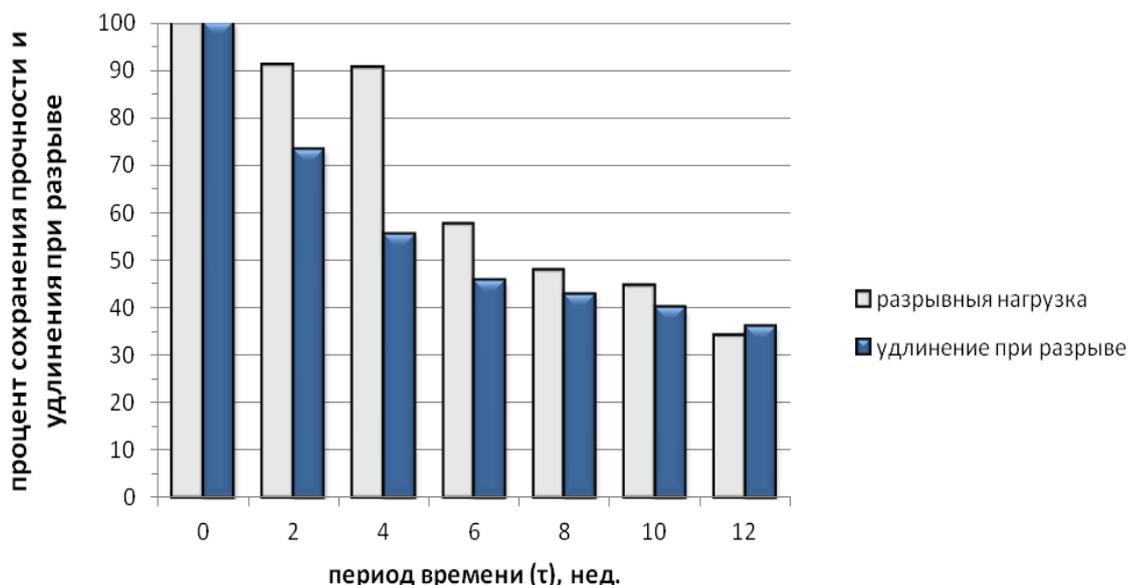


Рисунок 4 – Гистограмма изменения разрывной нагрузки (%) и удлинения при разрыве (%) от времени воздействия естественной инсоляции

Так, если значение разрывной нагрузки до воздействия естественной инсоляции составляло 5200 сН, то через шесть недель непрерывного воздействия солнечного излучения значение разрывной нагрузки составило 2975 сН, через двенадцать недель – 1760 сН.

Полученные математические модели позволяют спрогнозировать потерю прочности и удлинения при разрыве швейных ниток из пара-арамидных волокон Kevlar (100 %). Тенденция изменения разрывной нагрузки даёт возможность определить временной интервал полного разрушения исследуемых швейных ниток при непрерывном воздействии естественной инсоляции, составляющий тридцать четыре недели.

Удлинение при разрыве тесно связано с изменением разрывной нагрузки (коэффициент корреляции составляет 0,86), соответственно через тридцать четыре недели будет наблюдаться снижение удлинения при разрыве на 84 ± 5 %.

Результаты работы дают возможность разработать и внести в технические условия рекомендации, определяющие условия хранения такого рода скрепляющих материалов, что имеет практическую значимость для швейной отрасли и организаций МЧС, занимающихся производством и эксплуатацией изделий с использованием швейных ниток из пара-арамидных волокон Kevlar (100 %).

Проведённые исследования показали, что для выпуска качественных теплоотражательных костюмов пожарных, эксплуатирующихся в экстремальных условиях, необходим комплексный подход, включающий не только разработку новых технологий получения огнестойких материалов, но и тщательное исследование изменения свойств используемых скрепляющих материалов при длительном воздействии различных внешних условий.

Использование для соединения деталей скрепляющих материалов с неявно выраженным процессом деструкции, незаметном при визуальном осмотре, может привести к преждевременному отказу специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий и высоких температур во время её эксплуатации, а, следовательно, к получению травм, ставящих под угрозу здоровье и жизнь пожарного.

Список использованных источников

1. Волокно Кевлар фирмы Дюпон (часть 1, 3) // Компания «Твист». Производство шнуров и тросов [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : http://www.twistcom.ru/p_structura.html. – Дата доступа 12.10.2011.
2. Полимерные волокна третьего поколения // Аналитический портал химической промышленности [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа : http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=5154&cat_id=&page_id=1. – Дата доступа 14.09.2012.
3. Нить Coats Protos из 100 % пара-арамидного волокна Kevlar // Промышленные и оптовые товары [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : <http://minsk.deal.by/p689138-nit-coats-protos.html>. – Дата доступа 08.05.2012.
4. ГОСТ 6611.2 – 73. Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – Введ. 01.01.76. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1973. – 34 с.
5. Солнечная радиация и стекло // Оконный справочник [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа : <http://www.oknaportal.ru/articles/solniechnaia-radiatsiia-i-stieкло>. – Дата доступа 14.09.2012.

Статья поступила в редакцию 19.12.2012