

**ДИАГНОСТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ
И ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ****DIAGNOSTICS AND SAFETY OF TECHNICAL AND ENVIRONMENT SYSTEMS**

УДК 677.072.6-037.4

Поступила в редакцию 30.03.2017

Received 30.03.2017

В. И. Ольшанский¹, В. П. Довыденкова¹, А. Ф. Худолеев², Н. М. Дмитракович³¹*Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь*²*Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Беларусь*³*Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, Минск, Беларусь***ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ
И ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ТЕРМОГЕРМЕТИЗАЦИИ
СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ**

В настоящее время при изготовлении специальной защитной одежды пожарных широко используются огнестойкие металлизированные материалы. Однако применение традиционных способов скрепления деталей из огнестойких металлизированных материалов с пленочным покрытием способствует формированию соединений с низкими эксплуатационными и теплофизическими показателями. Соответственно возникает необходимость создания технологических решений, обеспечивающих выпуск качественных, надежных в эксплуатации образцов специальной защитной одежды пожарных, изготавливаемой из огнестойких металлизированных материалов. В данной статье изложены основные методологические подходы, использованные при оптимизации состава термогерметирующей композиции и параметров технологического процесса, выбранных для реализации оригинальной технологии термогерметизации и упрочнения узлов и соединений специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий.

Для решения поставленной задачи использованы методы математического планирования многофакторного эксперимента и симплекс-планирования. В качестве варьируемых факторов выбраны расход полимерной композиции, масса антипирена, время и температура контактной сушки. Критериями оптимизации явились показатели «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» и «Кислородный индекс». Определено рациональное сочетание компонентов термогерметирующей композиции и параметров технологического процесса для получения прочных, огнестойких соединений деталей специальной защитной одежды пожарных. Разработанная рецептура термогерметирующей композиции и параметры технологического процесса апробированы в производстве при изготовлении фрагментов теплозащитных костюмов пожарных.

Ключевые слова: огнестойкий металлизированный материал, защитная одежда, технология, многофакторный эксперимент, оптимизация

V. I. Olshansky¹, V. P. Dovydenkova¹, A. F. Hudoleev³, N. M. Dmitrakovich²¹*Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus,*²*Emergency Situations Ministry of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus,*³*University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus***OPTIMIZATION OF A MIXTURE OF POLYMERIC COMPOSITION AND PARAMETERS
OF TECHNOLOGICAL PROCESS FOR THERMO-SEALING OF SPECIAL PROTECTIVE CLOTHES
FOR FIREMAN**

Now broad application at production of special protective clothes of firefighters is found by the metallized materials steady against influence of fire and high temperatures and thermal streams. Application of traditional ways of a fastening of details from the metallized materials with a film covering, steady against influence of fire, high temperature and thermal streams, promotes formation of connections with low operational and heat-physical characteristics. There is a need for creation of technology solutions providing release of qualitative, reliable samples of special protective clothes for firefighters, made from heat- and fire-resistant metallized materials. Main methodological approaches used at optimization of structure

of the thermo-sealing composition and parameters of technological process chosen for realization of original technology of thermo-sealing and hardening of knots and connections of special protective firefighter's clothes from increased thermal influences are stated. The objective is solved with use of methods of mathematical planning of a multifactor experiment and a simplex planning. The expense of polymeric composition, mass of fire-retarding agent, time and temperature of contact drying are chosen as the varied factors. The indicators "Explosive loading at stretching perpendicular to a seam" and "An oxygen index" are the criteria of optimization. The rational combination of the components of the thermo-sealing composition and the parameters of the technological process for obtaining strong, fire-resistant joints details of special protective firefighter's clothing is determined. The developed recipe of the thermo-sealing composition and the parameters of the technological process have been tested at production of fragments of heat-shielding firemen's suits.

Keywords: metallized materials, steady against influence of fire, high temperatures and thermal streams, protective clothes, technology, multifactor experiment, optimization

Введение. В настоящее время расширение ассортимента одежды пожарных специальной защитной от повышенных тепловых воздействий (далее ОСЗ ПТВ) связано с появлением на мировом рынке новых и перспективных видов металлизированных огнестойких материалов с высоким коэффициентом отражения. Данные материалы представляют собой тканую основу из стекло- или кремнеземных волокон, дублированную плоской гибкой полимерной пленкой с нанесенным металлизированным покрытием различной толщины [1].

Основным способом скрепления деталей из металлизированных огнестойких материалов является ниточное соединение. При стачивании деталей на универсальных швейных машинах происходит перфорация металлизированного пленочного покрытия, являющегося связующим звеном в структуре огнестойкого материала. Образующиеся в результате перфорирования поры способствуют прохождению теплоты и повышению температуры в местах соединения деталей, вызывают смещение нитей тканой основы под воздействием внешних сил. Ввиду недостаточного тангенциального сопротивления нитей тканой основы взаимному перемещению (низкого трения между нитями основы и утка) происходит повышенная раздвигаемость ниточных соединений, которая является источником разрушения швов при механических воздействиях.

Поэтому возникает необходимость создания технологических решений, обеспечивающих упрочнение тканой основы и блокирование образующихся в процессе стачивания пор с использованием термогерметизирующих полимерных композиций.

Целью данной работы является оптимизация состава термогерметизирующей композиции и параметров технологического процесса, выбранных для реализации разработанной технологии термогерметизации и упрочнения узлов и соединений ОСЗ ПТВ.

Обсуждение физики процессов, лежащих в основе достижения поставленной цели. В работах К. И. Корицкого [2] предложено определять нагрузку испытываемой пробы ($P_{p.t.}$) по формуле

$$P_{p.t.} = (P_{p.n.} + F) \Pi \eta \cos \beta, \quad (1)$$

где $P_{p.n.}$ – разрывная нагрузка нити в свободном состоянии, Н; F – нагрузка, обусловленная действием сил трения и уменьшением длины скольжения волокон, Н; β – угол наклона нитей к линии приложения растягивающей силы в момент разрыва, град; η – коэффициент неоднородности нитей по разрывной нагрузке, равный 0,85; Π – число нитей в сечении полоски ткани.

Величина F зависит от трения нитей, силы нормального давления и прогиба нити и рассчитывается по формуле

$$F = \mu P_{p.n.} \sin \beta h, \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения нитей; $P_{p.n.} \sin \beta h$ – сила нормального давления на одну нить растягиваемой системы, Н; h – величина, пропорциональная прогибу нити.

Анализ формулы (2) позволяет установить, что при уменьшении значения коэффициента трения нити тканой основы легче выскальзывают из среза и смещаются в ткани. Чем больше площадь поверхности контакта нитей основы с нитями утка, тем больше поверхность, на которой развивается трение. С увеличением числа нитей тканой основы на 10 см и уменьшением длины перекрытий растет коэффициент связанности ткани и уменьшается возможность смещения и осыпания нитей.

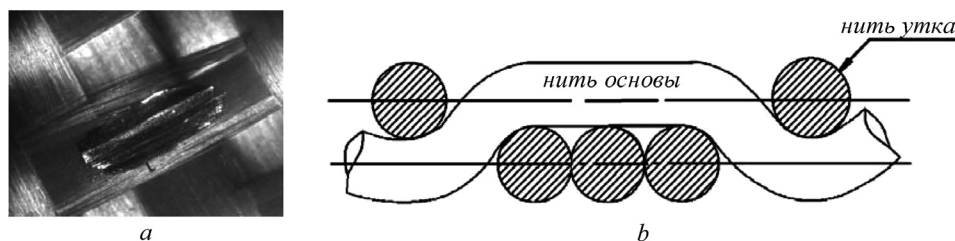


Рис. 1. Внешний вид и структура тканой основы огнестойкого металлизированного материала: *a* – внешний вид тканой основы; *b* – строение тканой основы в направлении нитей основы

Fig. 1. Appearance and structure of a woven basis of metallized material, steady against influence of fire and high temperatures: *a* – appearance of the woven basis; *b* – structure of a woven basis in the direction of basis threads

Рассмотрим структуру тканой основы огнестойкого металлизированного материала торговой марки «Alpfa-Maritex» (артикул 3025/9682), преимущественно используемого при изготовлении теплозащитных костюмов пожарных. Схематично строение тканой основы данного материала в направлении нитей основы представлено на рис. 1.

Уменьшение площади контакта нитей основы и утка приводит к уменьшению коэффициента связанности тканой основы, а также площади поверхности, на которой развивается трение. Дополнительная обработка поверхности стекловолокна замасливателями и шликтой, предусмотренная технологическим процессом его получения, приводит к снижению коэффициента трения с 0,7 до 0,3.

Следовательно, при использовании ниточного способа скрепления перфорация металлизированного пленочного покрытия приводит к формированию соединений деталей с низкой прочностью на разрыв, которые не могут противостоять циклически повторяющимся растягивающим усилиям, возникающим в процессе изготовления (выполнение операций стачивания, многократного вывертывания и т. п.) и первичной эксплуатации ОСЗ ПТВ. Для получения качественных, надежных в эксплуатации соединений должна применяться специальная технология, использующая полимерные композиции для упрочнения тканой основы путем увеличения коэффициента трения нитей, связанности нитей основы и утка.

Материалы и методы исследования. Основным требованием при выборе компонентов термогерметизирующей композиции является устойчивость к воздействию высоких температур и интенсивных тепловых потоков, что продиктовано условиями эксплуатации ОСЗ ПТВ. Авторами установлено, что в зоне перфорирования происходит не только повышение температуры, но и распространение теплового потока в радиальном направлении, что подтверждено экспериментально [3]. Проведенные предварительные исследования позволили определить ширину нанесения термогерметизирующей композиции, разработать устройство для ее подачи в околошовную зону. Доказано, что показатели «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» и «Кислородный индекс», определяющие прочность швов и устойчивость соединений готовых изделий к открытому пламени, существенно зависят от процентного содержания используемых компонентов и расхода термогерметизирующей композиции [4].

Таким образом, возникает необходимость решения компромиссной задачи, заключающейся в рациональном сочетании компонентов термогерметизирующей композиции (массовой доли антипирирующего агента, загустителя) и параметров технологического процесса.

Объектом исследования являлись образцы огнестойкого материала «Alpfa-Maritex» (волокнистый состав – стекловолокно, 100 %; поверхностная плотность – 460 ± 10 г/м²) с фрагментами термогерметичных и упрочненных стачных швов, полученных с использованием технологии локального нанесения термогерметизирующей композиции на припуск шва после раскроя и ниточного скрепления. В качестве материала полимерной основы термогерметизирующей композиции выбрана полиуретановая дисперсия «Аппретан N[®] 52291fl».

Для получения уравнений регрессии, устанавливающих влияние процентного содержания компонентов термогерметизирующей композиции и параметров технологического процесса на основные свойства термогерметичных и упрочненных соединений ОСЗ ПТВ, проводились экс-

периментальные исследования методом математического планирования многофакторного эксперимента.

В качестве входных приняты следующие факторы: X_1 – расход полимерной композиции при $S_{герм.} = 0,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \text{ г/м}^2$; X_2 – масса антипирена на 10 масс. ч. полиуретановой дисперсии «Аппретан N[®] 52291fl», г; X_3 – время контактной сушки, с; X_4 – температура контактной сушки, °С.

В качестве критериев оптимизации утверждены следующие показатели: Y_1 – разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву, Н; Y_2 – кислородный индекс, об.%.
Показатель «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» включен в нормативные документы и определяет качество соединений готовых изделий. Показатель «Кислородный индекс», регламентируемый СТБ 1972-2009, определяет пожарную опасность материалов и является основным показателем горючести твердых полимерных композиций.

Для проведения экспериментальных исследований и оценки точности предполагаемой регрессионной многофакторной модели второго порядка рекомендуется использовать D – оптимальные планы. Для четырехфакторного эксперимента следует применить симметричный план B_4 , который близок по свойствам к D – оптимальному плану, но содержит меньшее число опытов [5]. Уровни и интервалы варьирования, определенные с учетом проведенных предварительных исследований процесса термогерметизации и упрочнения соединений деталей ОСЗ ПТВ, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Входные факторы, уровни и интервалы варьирования
Table 1. Entrance factors, levels and intervals of variation

Наименование фактора	Обозначение фактора	Уровень варьирования			Интервал варьирования, Δ
		-1	0	+1	
Расход полимерной композиции при $S_{герм.} = 0,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \text{ г/м}^2$	X_1	0,14	0,30	0,46	0,16
Масса антипирена на 10 масс. ч. полиуретановой дисперсии, г	X_2	4	5	6	1
Время контактной сушки, с	X_3	10	20	30	10
Температура контактной сушки, °С	X_4	130	150	170	20

Запланированный эксперимент проведен в лабораторных условиях учреждения «Научно-исследовательский центр Витебского областного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедры «Конструирование и технология одежды» Витебского государственного технологического университета, кафедры «Управление защитой от чрезвычайных ситуаций» Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь.

Значения показателей «Кислородный индекс» и «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» определялись в соответствии с СТБ 1972-2009, ГОСТ 28073-89, ГОСТ 12.1.044. По каждому опыту получено и испытано по 7 образцов с термогерметичными и упрочненными соединениями. Для всех образцов использовался комбинированный способ сушки. Время конвективной сушки в каждом из экспериментов равнялось 10 ± 1 с, температура конвективной сушки – 125 ± 5 °С. Динамическая вязкость разработанной полимерной композиции составляла $2,74 \pm 0,15$ кПа·с и в каждом из опытов являлась постоянной величиной.

Результаты и их обсуждение. Обработка результатов эксперимента проводилась на ПЭВМ с использованием программы «STATISTICA 6.0». Математическая зависимость объекта была представлена в виде полинома n -степени, то есть отрезком ряда Тейлора:

$$Y_i = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^k a_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{\substack{i,j,u=1 \\ i \neq j \neq u}}^k a_{iju} \cdot x_i \cdot x_j \cdot x_u + \sum_{i=1}^k a_{ii} \cdot x_i^2 + \dots, \quad (3)$$

где Y_i – критерий оптимизации; x_i, x_j, x_u – управляемые независимые переменные; $a_0, a_i, a_{ij}, a_{iju}, a_{ii}$ – теоретические коэффициенты регрессии.

Для оценки неизвестных параметров полученных регрессионных зависимостей использовался метод наименьших квадратов. Регрессионная зависимость считалась надежной в случае, если: коэффициент детерминации (R^2) имел значение больше 0,8; коэффициенты уравнения регрессии и его свободный член были значимы по уровню 0,05 (p-level меньше 0,05); стандартная ошибка зависимой переменной по уровню составляла не более 5 % среднего значения зависимой переменной. Коэффициенты регрессионных зависимостей по показателям Y_1 и Y_2 с учетом их значимости представлены в табл. 2, 3.

Таблица 2. Коэффициенты регрессионной зависимости по показателю Y_1 и оценка их значимости.

Модель: $Y_1 = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2 + a_3 * X_3 + a_{14} * X_1^2 + a_{15} * X_2^2$. Коэффициент детерминации $R^2 = 99,852$ %

Table 2. Coefficients of regression dependence on the indicator Y_1 and an assessment of their importance.

Model: $Y_1 = a_0 + a_1 * X_1 + a_2 * X_2 + a_3 * X_3 + a_{14} * X_1^2 + a_{15} * X_2^2$. Determination coefficient $R^2 = 99,852$ %

Показатель	Коэффициент					
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_{14}	a_{15}
Значение коэффициента	407,111	24,614	-37,037	-1,643	2,316	-2,334
Стандартная ошибка, %	0,7716	0,4043	0,4043	0,4043	0,9724	0,9724
p-level	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0285	0,0274

Таблица 3. Коэффициенты регрессионной зависимости по показателю Y_2 и оценка их значимости.

Модель: $Y_2 = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4 + b_9 * X_2 * X_4$. Коэффициент детерминации $R^2 = 99,605$ %

Table 3. Coefficients of regression dependence on the indicator Y_2 and an assessment of their importance.

Model: $Y_2 = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4 + b_9 * X_2 * X_4$. Determination coefficient $R^2 = 99,605$ %

Показатель	Коэффициент					
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_9
Значение коэффициента	19,420	0,927	7,017	-5,837	0,856	0,384
Стандартная ошибка, %	0,1185	0,1369	0,1369	0,1369	0,1369	0,1452
p-level	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0164

Полученные математические зависимости исследуемого процесса в кодированных значениях имеют вид:

показатель «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» термогерметичных и упрочненных соединений ОСЗ ПТВ:

$$Y_1 = 407,11 + 24,614X_1 - 37,037X_2 - 1,643X_3 + 2,316X_1^2 - 2,334X_2^2, \quad (4)$$

показатель «Кислородный индекс» термогерметичных и упрочненных соединений ОСЗ ПТВ:

$$Y_2 = 19,420 + 0,927X_1 + 7,017X_2 - 5,837X_3 + 0,8542X_4 + 0,384X_2X_4. \quad (5)$$

Анализ полученных математических зависимостей показал, что особенностью зависимости по критерию оптимизации Y_2 («Кислородный индекс») является существенное влияние коэффициента при показателе X_2 («Масса антипирена»). Он выше остальных коэффициентов и является величиной одинакового порядка с величиной свободного члена, что говорит о том, что критерий оптимизации Y_2 («Кислородный индекс») очень чувствителен к концентрации антипиренирующего агента в составе разрабатываемой композиции. Даже незначительное изменение этого фактора оказывает влияние на величину свободного члена, что полностью соответствует действительности. Следовательно, для обеспечения установленного значения по критерию оптимизации Y_2 («Кислородный индекс») необходимо строгое соблюдение рецептуры термогерметизирующей композиции.

Оценка адекватности полученных математических зависимостей была выполнена путем исследования остатков [6]. Результаты исследования остатков проиллюстрированы на рис. 2–5. Анализ графических зависимостей, представленных на рис. 2 и 3, показывает, что остатки по показателям Y_1 и Y_2 достаточно хорошо описываются прямой, соответствующей закону нормального распределения, то есть предположение о нормальном распределении выполнено.

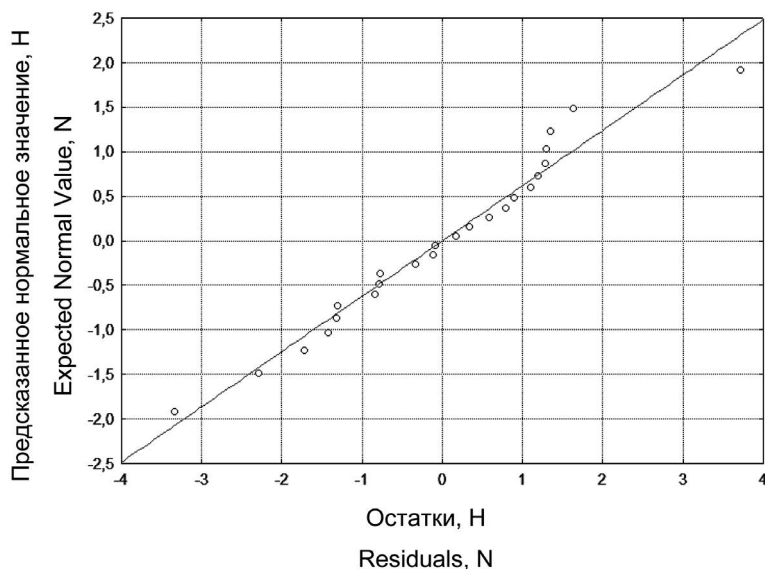


Рис. 2. Нормальный вероятностный график остатков по показателю «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» (Y_1)

Fig. 2. The normal probabilistic graph of the remains on an indicator “Explosive loading at stretching perpendicular to seam” (Y_1)

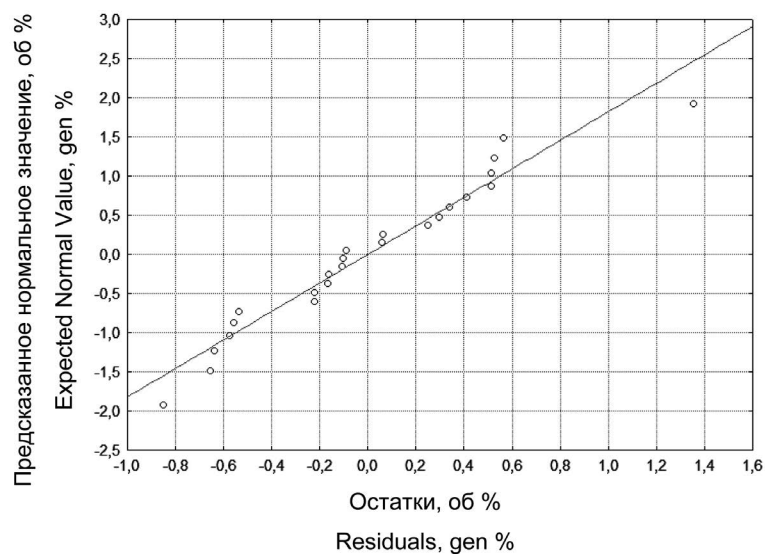


Рис. 3. Нормальный вероятностный график остатков по показателю «Кислородный индекс» (Y_2)

Fig. 3. The normal probabilistic graph of the remains on an indicator “An oxygen index” (Y_2)

Для выявления нестабильности дисперсии ошибки полученных математических зависимостей были исследованы зависимости регрессионных остатков от предсказанных значений показателей Y_1 и Y_2 .

Анализ полученных данных (рис. 4) показал, что остатки по показателю Y_1 хаотично разбросаны относительно прямой, не связаны между собой, следовательно, в их поведении нет закономерности. Графическая зависимость остатков от предсказанных значений по показателю Y_1 не содержит остатков, по абсолютной величине значительно превосходящих все остальные. Отсюда можно заключить, что полученная математическая зависимость по показателю Y_1 адекватно описывает данные.

Остатки по показателю Y_2 (рис. 5) также хаотично разбросаны относительно прямой, не связаны между собой, однако имеют одну выделяющуюся точку.

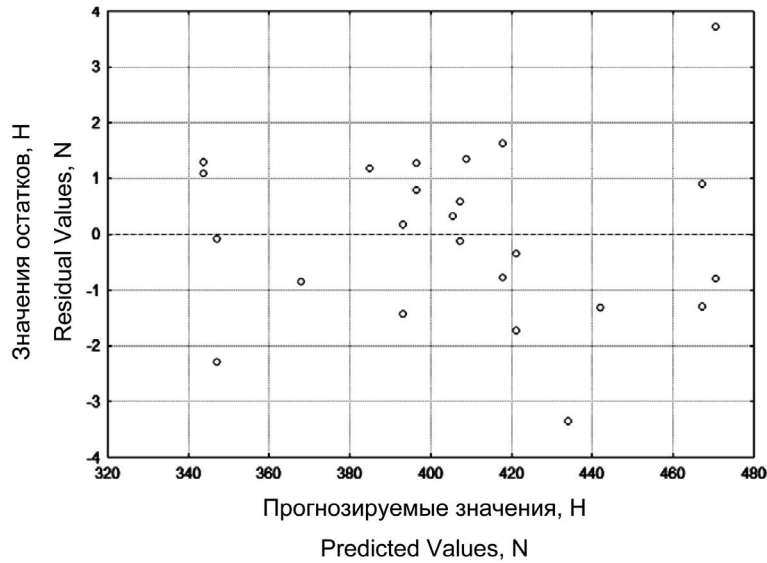


Рис. 4. График остатков в линейной зависимости от предсказанных значений по показателю «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» (Y_1)

Fig. 4. The graph of the remains in linear dependence on the predicted values on an indicator “Explosive loading at stretching perpendicular to seam” (Y_1)

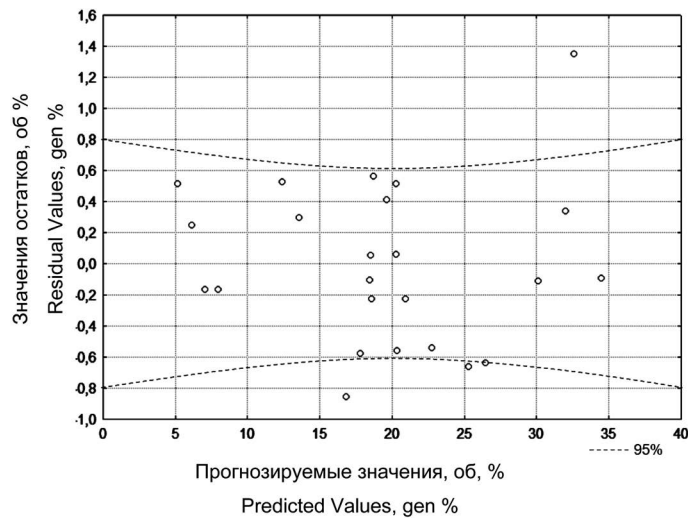


Рис. 5. График остатков в линейной зависимости от предсказанных значений по показателю «Кислородный индекс» (Y_2)

Fig. 5. The graph of the remains in linear dependence on the predicted values on an indicator “An oxygen index” (Y_2)

Анализ характера формы горизонтальной полосы, образуемой остатками по показателю Y_2 , экспериментальных данных и причин возникновения выделяющегося наблюдения позволяет рассматривать полученную зависимость как адекватную. Таким образом, полученные уравнения регрессии (4), (5) адекватны и значимы.

Оптимизация содержания компонентов термогерметизирующей композиции и параметров технологического процесса осуществлялась с помощью программного пакета Maple 9.5 после перехода от кодированных значений к натуральным по известным формулам. Решение системы уравнений (6) выполнено методом симплекс-планирования при следующих условиях и ограничениях (7):

$$\begin{cases} Y_1 = 499,223 + 99,556X_1 - 13,697X_2 - 0,164X_3 + 90,469X_1^2 - 2,334X_2^2 \\ Y_2 = 2,251 + 5,794X_1 + 4,137X_2 - 0,584X_3 - 0,053X_4 + 0,019X_2X_4 \end{cases}, \quad (6)$$

$$\begin{cases} Y_1 \rightarrow \max \\ Y_2 \geq 29 \end{cases} \quad \text{при} \quad \begin{cases} 0,14 \leq X_1 \leq 0,46 \\ 4 \leq X_2 \leq 6 \\ 10 \leq X_3 \leq 30 \\ 130 \leq X_4 \leq 170 \end{cases} \quad (7)$$

Для обеспечения безопасности и исключения горения образцов при воздействии открытого пламени предел ограничения по критерию оптимизации Y_2 выбран больше указанного в СТБ 1972-2009 значения на величину погрешности измерительных приборов, составляющую не более 7 %.

Результаты математической обработки массива данных в среде Maple 9.5 методом симплекс-планирования позволили установить теоретические значения критериев оптимизации и соответствующие значения входных факторов:

$$\begin{cases} Y_{\text{опт}} = 424,95 \pm 21,2 \text{ (Н)} \\ Y_{2\text{опт}} \geq 29 \text{ (об.}\%) \end{cases} \quad \text{при} \quad \begin{cases} X_1 = 0,46 \pm 0,02 \text{ (г/м}^2\text{)} \\ X_2 = 5,28 \pm 0,01 \text{ (г)} \\ X_3 = 10 \pm 1,0 \text{ (с)} \\ X_4 = 170 \pm 8,5 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, в диапазоне значений, установленных при планировании эксперимента, оптимальный вариант термогерметизирующей композиции должен содержать: полиуретан «Аппретан N[®] 52291fl»; антипирен – смесь галогенов в фосфатном пластификаторе; загуститель «Printofix Verdicker CNfl».

Пропорциональное соотношение компонентов жидкофазной полимерной композиции следующее: полиуретан/антипирен/загуститель – 100/52,8/1,9.

При этом оптимальными параметрами технологического процесса являются: расход жидкофазной термогерметизирующей композиции при $S_{\text{герм.}} = 0,77 \cdot 10^3 \text{ м}^2$, составляющий $0,46 \pm 0,02 \text{ г/м}^2$; время контактной сушки – $10 \pm 1,0 \text{ с}$ (на 20–25 см шва); температура контактной сушки – $170 \pm 8,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

При указанных параметрах значение разрывной нагрузки, приложенной перпендикулярно к шву (критерий оптимизации Y_1), для образцов, направление линии шва которых совпадает с направлением нитей основы, составит $424,95 \pm 21,2 \text{ Н}$, значение кислородного индекса (критерий оптимизации Y_2) – не менее 29,0 об.%.

В итоге проведенных исследований по оптимизации компонентов термогерметизирующей композиции и параметров технологического процесса в производственных условиях получены образцы термогерметичных и упрочненных соединений ОСЗ ПТВ, которые испытаны в лабораторных условиях учреждения «Научно-исследовательский центр Витебского областного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь». Результаты теоретических и экспериментальных исследований согласно протоколам испытаний представлены в табл. 4.

Анализ табл. 4 показывает, что относительная погрешность в значениях теоретических и экспериментальных исследований по показателю «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» для образцов, направление линии шва которых совпадает с направлением нитей основы, составляет менее 1,0 %.

Таблица 4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований полученных термогерметичных и упрочненных соединений специальной защитной одежды пожарных (направление линии шва – вдоль нитей основы)

Table 4. Results of theoretical and pilot research of the obtained thermo-sealing and hardening of connections of special protective clothes of firefighters (the direction of the line of a seam – along basis threads)

Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву, Н		Кислородный индекс, об.%		
теоретическое значение	экспериментальное значение	нормативное значение	теоретическое значение	экспериментальное значение
424,95±21,2	425,3	Не менее 27	Не менее 29,0	30,5

Экспериментальное значение показателя «Кислородный индекс» составляет 30,5 об.%, что превышает теоретически установленное значение (не менее 29,0 об.%), создавая запас огнестойкости формируемых термогерметичных и упрочненных соединений не менее 7 %.

Заклучение. Установленные рациональное сочетание компонентов термогерметизирующей композиции и параметры технологического процесса апробированы в условиях РПУП «Униформ» г. Микашевичи при изготовлении фрагментов теплозащитных костюмов пожарных. Экспериментальные исследования полученных термогерметичных и упрочненных соединений, проведенные в лабораторных условиях учреждения «Научно-исследовательский центр Витебского областного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», показали, что при соблюдении указанного сочетания компонентов и параметров технологического процесса среднее значение показателя «Разрывная нагрузка при растяжении перпендикулярно шву» при направлении линии шва вдоль нитей основы составляет 425,3 Н при среднем значении показателя «Кислородный индекс» – 30,5 об.%, что обеспечивает формирование прочных, огнестойких и надежных в эксплуатации узлов и соединений ОСЗ ПТВ [4].

Список использованных источников

1. Покрытия на текстильные и полимерные материалы Вакуумно-плазменные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elcom.biz/services/textile-polymer-cover/>. – Дата доступа: 21.02.2013.
2. Бузов, Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) / Б. А. Бузов, Н. Д. Алтыменкова ; под ред. Б. А. Бузова. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 448 с.
3. Закономерности распределения температуры на внутренней поверхности материала верха специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий / В. П. Довыденкова [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 11. – С. 116–122.
4. Разработка процесса герметизации мест ниточных соединений деталей специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий: Отчет о НИР (заключительный) / УО «ВГТУ»; рук. В. И. Ольшевский. – Витебск, 2014. – 138 с. – № ГР 20130667.
5. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
6. Стукач, О. В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством / О. В. Стукач ; Томск. политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2011. – 163 с.

References

1. Coverings on textile and polymeric materials. Vacuum and plasma technologies. Available at: <http://www.elcom.biz/services/textile-polymer-cover/> (accessed 21 Febr. 2013) (in Russian).
2. Buzov B. A. *Materials science in production of products of light industry (sewing production): the textbook for students of higher educational institutions*. Moscow, Akademiya Publ., 2004. 448 p. (in Russian).
3. Dovydenkova V. P., Ol'shanskii V. I., Dmitrakovich N. M., Mackevich E. V. Regularities of temperature distribution on internal surface of material of top of special protective clothes of firemen due to increased thermal influences. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki* [Bulletin of the Polotsk State University. Series B. Industry. Applied sciences], 2013, no. 11, pp. 116–122 (in Russian).
4. Ol'shanskii V. I. (head). *Development of process of sealing of places of thread connections of details of special protective clothes of firefighter from the increased thermal influences*. Report on research work (final). Vitebsk, Vitebsk State Technological University, 2014. 138 p. № ГР 20130667 (in Russian).
5. Tihomirov V. B. *Planning and analysis of an experiment*. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1974. 262 p. (in Russian).
6. Stukach O. V. *The program complex Statistica in the solution to the tasks of management of quality: education guidance*. Tomsk, Tomsk Polytechnical University, 2011. 163 p. (in Russian).

Информация об авторах

Ольшевский Валерий Иосифович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет (Московский пр., 72, 210035, Витебск, Республика Беларусь). E-mail: tiomp@vstu.by

Довыденкова Вера Петровна – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Конструирование и технология одежды», Витебский государственный технологический университет (Московский пр., 72,

Information about the authors

Olishanski Valery Iosifovich – Ph. D. (Engineering), Professor, Head of Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University (72, Moscovskii Ave., 210035, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: tiomp@vstu.by

Davydzenkava Vera Petrovna – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Design and Technology Clothing, Vitebsk State Technological University (72, Moscovskii Ave., 210035, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: davydzenkava@mail.ru

210035, Витебск, Республика Беларусь). E-mail: davudzenkava@mail.ru

Худолеев Александр Федорович – заместитель министра по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ул. Революционная, 5, 220030, Минск, Республика Беларусь).

Дмитракович Николай Михайлович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление защитой от чрезвычайных ситуаций», Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск, Республика Беларусь). E-mail: ontrnic@mail.ru

Для цитирования

Оптимизация состава полимерной композиции и параметров технологического процесса для термогерметизации специальной защитной одежды пожарных / В. И. Ольшанский [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2017. – № 2. – С. 116–125.

Hudoleev Aleksandr Fedorovich – Deputy Minister on Emergency Situations of Republic of Belarus, Emergency Situations Ministry of the Republic of Belarus (5, Revolyutsionnaya Str., 220030, Minsk, Republic of Belarus).

Dmitrakovich Nikolay Mikhaylovich – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Management of Protection Against Emergency Situations, University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroiteley Str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ontrnic@mail.ru

For citation

Olshansky V. I., Dovydenkova V. P., Hudoleev A. F., Dmitrakovich N. M. Optimization of a mixture of polymeric composition and parameters of technological process for thermo-sealing of special protective clothes for fireman. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnych navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series], 2017, no. 2, pp. 116–125 (in Russian).