

УДК 677.011;004

**ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА  
ИЗОЛИРУЮЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**OPTIMISATION OF A DEGREE OF QUALITY  
OF ISOLATING TEXTILE MATERIALS**

*Д.Р. ЗИЯТДИНОВА, Н.Ф. КАШАПОВ, Р.Р. ФАТКУЛЛИНА, Р.Х. ФАТХУТДИНОВ*  
*D.R. ZIJATDINOVA, N.F. KASHAPOV, R.R. FATKULINA, R.H. FATHUTDINOV*

(Казанский государственный технологический университет,  
Казанский химический научно-исследовательский институт)  
(Kazan State Technological University, Kazan Research Institute)  
E-mail: kashnail@mail.ru; kashimnii@yandex.ru

*С помощью методов планирования эксперимента изучено влияние состава и толщины полимерного покрытия на свойства защитного изолирующего материала. Корреляционный анализ подтверждает наличие связей между регулируемыми факторами, защитными и физико-механическими свойствами.*

*By means of the experiment planning methods the influence of contents and a polymeric coat structure and thickness on the properties of a protective isolating material is studied. The correlation analysis confirms the presence of connections between regulated factors, protective and physical and mechanical properties.*

**Ключевые слова:** защитные материалы, изолирующий костюм, план эксперимента, свойства, корреляция, функция желательности, область оптимальных значений.

**Keywords:** protective materials, an isolating suit, an experiment plan, properties, correlation, a desirability function, an optimum values area.

Задачей исследования является оптимизация уровня качества изолирующих текстильных материалов. Объектом исследования выбран защитный материал, предназначенный для изготовления костюмов, применяемых как средство индивидуальной защиты от агрессивных химически опасных веществ (газообразного и жидкого аммиака, хлора) и открытого

пламени. Защиту от воздействия указанных вредных факторов обеспечивают покрытия (с внешней стороны – фторсодержащее полимерное, с изнаночной – бутилкаучуковое), наносимые на текстильную основу [1].

Влияние изменения параметров внешнего фторсодержащего полимерного покрытия материала (толщины и содержания

основных компонентов) на защитные и физико-механические свойства изучали с помощью методов планирования эксперимента и корреляционного анализа. Разработку плана эксперимента и анализ полученных данных проводили с использованием пакета Statistica.

В качестве регулируемых факторов выбраны следующие показатели:  $X_1$  – содержание фторопласта в смеси основных компонентов (фторопласт/фторкаучук) полимерной композиции внешнего покрытия;  $X_2$  – толщина внешнего полимерного покрытия. Вид ткани, используемой в качестве основы, является дискретным показателем и введен в план эксперимента как фактор-блок. Было выбрано три артикула тканей различного волокнистого состава с поверхностной плотностью от 80 до 92 г/м<sup>2</sup>: арт. 56437 (полиамид – 100%), арт. 66018 (капрон – 50%, хлопок – 50%), арт. 56231 (полипропилен – 100%).

Для экспериментальных исследований применили полный двухфакторный план, состоящий из трех блоков [2]. В табл. 1

представлены уровни варьирования регулируемых факторов. Для фактора процентного содержания фторопласта в смеси компонентов покрытия ( $X_1$ ) основной уровень – 50%, интервал варьирования составляет 30 %; для фактора толщины покрытия ( $X_2$ ) основной уровень – 0,06 мм, интервал варьирования – 0,03 мм.

Таблица 1

Факторы	Уровни варьирования			Интервал варьирования
	-1	0	1	
$X_1$ , %	20/80	50/50	80/20	30
$X_2$ , мм	0,03	0,06	0,09	0,03

С целью снижения вероятности возникновения ошибки использовали рандомизированный порядок проведения опытов. В табл. 2 представлен план эксперимента. Испытания проводили по основным защитным и физико-механическим свойствам материала, установленным на основе требований нормативной документации и экспертного анализа.

Таблица 2

№ блока	№ опыта	$X_1$	$X_2$	Показатель стойкости к открытому пламени, с – $Y_1$	Показатель жесткости, Н – $Y_2$	Показатель стойкости к истиранию, циклы – $Y_3$	Время защитного действия, мин – $Y_4$	Масса, г/м <sup>2</sup> – $Y_5$
1	1	0	+	13,8	0,13	950	1520	660
	2	+	0	11,0	0,3	750	980	600
	3	-	-	7	0,05	980	186	550
2	4	-	0	11,5	0,05	980	1000	620
	5	+	+	14,0	0,28	750	1520	670
	6	0	-	7,2	0,14	950	180	560
3	7	+	-	7,5	0,27	700	170	560
	8	-	+	13,2	0,04	950	1515	650
	9	0	0	11,0	0,12	950	1000	610

Для определения степени влияния факторов на каждое из свойств был проведен корреляционный анализ полученных данных. Значимая корреляционная связь ( $p \leq 0,05$ ) обнаружена между фактором  $X_1$  и показателями: жесткости  $Y_2$  ( $r = 0,98$ ), стойкости к истиранию  $Y_3$  ( $r = -0,89$ ); фактором  $X_2$  и показателями: стойкости к открытому пламени  $Y_1$  ( $r = 0,99$ ), времени защитного действия  $Y_4$  ( $r = 0,99$ ) и массы материала  $Y_5$  ( $r = 0,99$ ).

Поиск оптимальных уровней регулируемых факторов выполняли с использованием обобщенного показателя качества. Оптимальными являются уровни или область значений факторов, при которых показатели всех свойств – критериев находятся в допустимых по нормам (ГОСТа 12.4.058-84, НПБ 162-2002) пределах. Для решения задачи многокритериальной оптимизации использовали функцию желаемости

тельности, изменяющуюся в пределах от 0 до 1 по формуле

$$d_i = \exp\left(-\frac{1}{Y}\right) = \frac{1}{e^{1/Y}}, \quad (1)$$

где  $0 < Y < \infty$ .

Обобщенная функция желательности  $D$  представляет собой среднее геометрическое желательностей отдельных параметров:

$$D = \sqrt[i]{d_1 d_2 \dots d_i}, \quad (2)$$

где  $d_1, d_2 \dots d_i$  – частные желательности критериев оптимизации;  $i$  – количество анализируемых параметров (в нашем случае  $i=5$ ).

На основе требований нормативной документации к качеству материалов было выделено три уровня градации качества изолирующего материала:

– нежелательное качество материала:  $d_i=(0 \div 0,49)$  – показатели свойств  $Y_1, Y_3, Y_4$ , имеют значения ниже допустимых по ГОСТу, показатели свойств  $Y_2, Y_5$  имеют предельные значения, увеличение которых не допускается;

– приемлемое качество материала:  $d_i=(0,5 \div 0,99)$  – показатели свойств  $Y_1, Y_2, Y_4, Y_5$  имеют допустимые по ГОСТу значения и лучше, показатель  $Y_3$  – близок к допустимому;

– хорошее качество материала:  $d_i = 1$  – все свойства имеют показатели, соответствующие нормативным требованиям, причем большая часть показателей лучше стандартных<sup>1</sup>.

Для каждого критерия установлены значения в натуральном выражении, соответствующие максимальному ( $\max = 1$ ), минимальному ( $\min = 0$ ) и среднему ( $\text{medium} = 0,5$ ) и уровням желательности  $d_i$  (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Критерии	Уровни желательности		
	min	medium	max
$Y_1, c$	7,00	10,5	14,0
$Y_2, H$	0,30	0,17	0,04
$Y_3, \text{циклы}$	960	980	1000
$Y_4, \text{мин.}$	170	845	1520
$Y_5, \text{г/м}^2$	600	580	560

Количество точек факторного пространства для непрерывных факторов  $X_1$  и  $X_2$  было увеличено с 9 до 20, в результате уменьшаются интервалы между значениями факторов, что позволяет повысить точность анализа. Изучение профилей, поверхности и контура желательности, прогнозируемых значений критериев (рис. 1) позволило определить область оптимальных значений факторов.

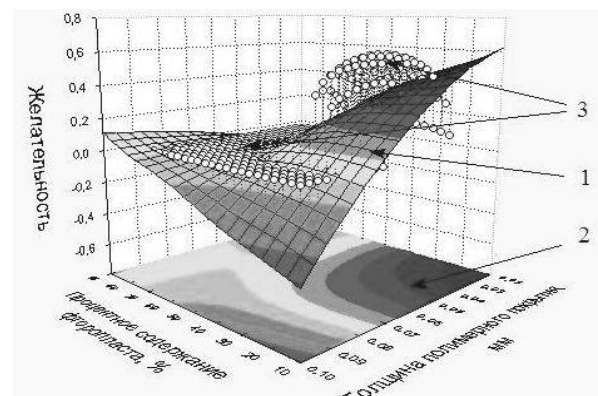


Рис. 1

При выборе наилучшей альтернативы в области оптимальных значений факторов учитывалась противоречивость многоцелевой оптимизационной задачи – увеличение толщины полимерного покрытия ведет к улучшению защитных показателей ( $Y_1$  и  $Y_4$ ) и показателя стойкости к истиранию ( $Y_3$ ), но при этом увеличивается масса материала ( $Y_5$ ), что ведет к затруднениям при эксплуатации средств индивидуальной защиты.

При увеличении содержания фторопласта до 32% показатель стойкости к истиранию ( $Y_3$ ) увеличивается, при дальнейшем увеличении фторопласта – постепенно уменьшается, при этом увеличивается показатель жесткости ( $Y_2$ ), что может отрицательно сказаться на технологических и эксплуатационных качествах материала. Так как материал прежде всего должен выполнять защитные функции, приоритетными критериями при выборе оптимальных значений факторов явились показатели  $Y_1$  и  $Y_4$ .

<sup>1</sup> Свойства  $Y_2, Y_5$  имеют односторонние ограничения по максимальному уровню значений ( $Y \leq Y_{\max}$ ), в то время как свойства  $Y_1, Y_3, Y_4$  – по минимальному уровню значений ( $Y \geq Y_{\min}$ ).

В качестве наиболее приемлемых выбрана следующие значения регулируемых факторов: содержание фторопласта в смеси основных компонентов полимерного покрытия ( $X_1$ ) – 29...32% (соответственно, содержание фторкаучука 68...71%); толщина полимерного покрытия ( $X_2$ ) – 0,042...0,045 мм.

## ВЫВОДЫ

Решена многокритериальная задача оптимизации уровня качества изолирующего защитного материала для средств индивидуальной защиты. Получена область значений параметров внешнего полимерного покрытия материала, обеспечивающих оп-

тимальные значения показателей и соответствие уровня качества материала нормативным требованиям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Зарипов И.Н., Кашапов Н.Ф., Козырева Е.Б., Фатхутдинов Р.Х.* Особенности создания текстильно-резиновых материалов для средств индивидуальной защиты, стойких к воздействию агрессивных химически опасных веществ // *Каучук и резина.* – 2006, №6. С. 27...28.

2. *Боровиков В.П.* STATISTICA, искусство анализа данных на компьютере. – СПб.: Питер, 2001.

Рекомендована кафедрой технологического оборудования медицинской и легкой промышленности КГТУ. Поступила 20.10.10.