

УДК 677.022:519.8:62.50

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Д.А. ЗАБРОДИН, П.А. СЕВОСТЬЯНОВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

E-mail: office@msta.ac.ru

Предлагается модель для прогнозирования изменения функциональных свойств специальных тканей на примере их огнестойкости, и излагаются результаты исследования зависимости прогноза от вариаций и неопределенности в исходных данных.

The method of forecasting of the reduction of a special fabric functionality is offered on the basis of the offered computer model, and the results of the influence on the variations forecast and the initial data uncertainty are resulted in the article.

Ключевые слова: функциональность ткани, компьютерное моделирование, комплексный показатель, теория надежности.

В [1] предложен метод моделирования динамики изменения и потери функциональности сложной системой на примере изменения огнестойкости ткани. Здесь рассмотрено развитие данного подхода применительно к свойствам огнезащиты тканей для спецодежды. Выделим следующие характеристики, по которым оценивается способность такой ткани выполнять свои функции: W_1 – время остаточного горения; W_2 – время остаточного тления; W_3 – поверхностная плотность; W_4 –

разрывная нагрузка по основе; W_5 – разрывная нагрузка по утку.

Перечислим факторы, от которых зависят эти характеристики: x_1 – концентрация аппрета, x_2 – плотность нитей основы, x_3 – плотность нитей утка, x_4 – разрывная нагрузка нитей основы, x_5 – разрывная нагрузка нитей утка, x_6 – поверхностная плотность ткани, которая сама, в свою очередь, зависит от некоторых из перечисленных выше факторов.

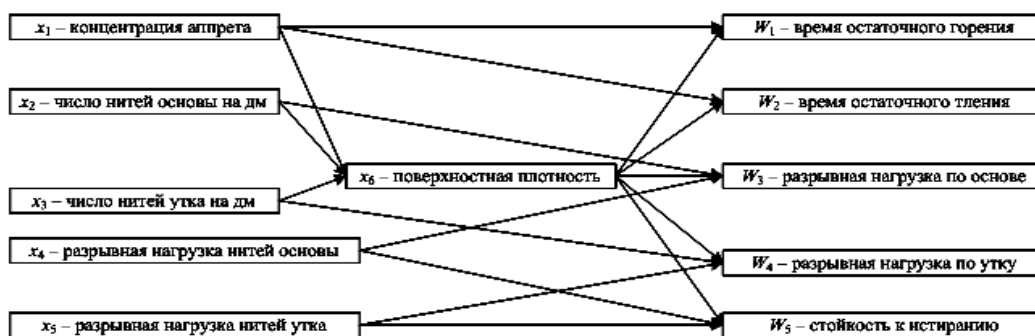


Рис. 1

На рис. 1 приведена структура связей между свойствами нитей и ткани и показателями функциональности по огнестойкости рассматриваемой ткани. Характерным для данной структуры является присутствие как прямых причинно-следственных связей, например, $x_1 \rightarrow W_1$, так и опосредованных связей, например, $x_1 \rightarrow x_6 \rightarrow$

W_1 , причем в данном случае все опосредованные связи проходят через одну и ту же характеристику ткани x_6 .

В качестве индикатора функциональности материала по каждому из показателей $W_1 - W_5$ можно использовать функцию $F_k(t)$:

$$F_k(t) = 1 \text{ при } t < T_k \text{ и } F_k(t) = 0 \text{ при } t \geq T_k, \quad k = 1, \dots, 5. \quad (1)$$

Здесь T_k – момент потери функциональности материалом по k -му показателю.

С учетом весомости C_k каждого показателя в функционировании материала функциональность материала в целом можно оценить аддитивным критерием:

$$F_s(t) = C_1 F_1(t) + \dots + C_5 F_5(t). \quad (2)$$

Весовые множители удобно выбрать так, чтобы они отвечали условиям нормировки: $C_k > 0$ и $C_1 + \dots + C_5 = 1$. В этом случае значения $F_s(t)$ находятся в пределах от нуля до единицы. При снижении уровня $F_s(t)$ ниже выбранного критического значения F_{cr} материал считается полностью утратившим свою функциональность.

Прогнозирование уровня функциональности может быть осуществлено методами компьютерного моделирования [2]. Процедура прогнозирования уровня функциональности $F_s(t)$ материала на момент t включает следующие шаги: 1) – моделирование значений времени t_j , в течение которого сохраняется функциональность j -го

признака; 2) – вычисление наибольшего времени T_k сохранения функциональности материалом по k -му показателю; 3) – расчет значения показателя (2), оценивающего функциональность материала в целом; 4) – сравнение вычисленного значения показателя (2) с критическим уровнем, принятие решения о потере материалом функциональности и фиксация момента времени T_s , при котором произошла эта потеря функциональности.

Поскольку значения t_j являются случайными величинами, то для получения статистически устойчивого прогноза следует описанную процедуру повторить многократно и затем найти статистически усредненные оценки показателей. Вычисление моментов T_k времени в соответствии с рис.1 выполняется по формулам:

$$\begin{aligned} T_1 &= \max\{t_1; \min\{t_1; t_6\}; \min\{t_2; t_6\}; \min\{t_3; t_6\}\}, \\ T_2 &= \max\{t_1; \min\{t_1; t_6\}; \min\{t_2; t_6\}; \min\{t_3; t_6\}\}, \\ T_3 &= \max\{t_2; \min\{t_1; t_6\}; \min\{t_2; t_6\}; \min\{t_3; t_6\}; t_4\}, \\ T_4 &= \max\{\min\{t_1; t_6\}; \min\{t_2; t_6\}; \min\{t_3; t_6\}; t_3; t_5\}, \end{aligned}$$

$$T_5 = \max\{\min\{t_1; t_6\}; \min\{t_2; t_6\}; \min\{t_3; t_6\}; t_4; t_5\} .$$

Для практического использования описанной процедуры следует изучить ее чувствительность к вариациям и неопределенности в исходных данных. С этой целью проведены вычислительные эксперименты. В первом из них исследовано распределение времени функционирования материала T_s в зависимости от вида распределения t_j . Для этого при прочих равных условиях значения t_s генерировались согласно экспоненциальному распределению $t_{j1} \sim E_x$ и согласно распределению Вейбулла $t_{j2} \sim W_b$, причем два параметра этого распределения выбирались так, чтобы средние значения и коэффициенты вариации t_{j1} и t_{j2} совпадали. Степень расхождения между распределениями T_s оценивалась по критериям χ^2 и двухвыборочному критерию Колмогорова – Смирнова. Проверка показала, что при любом выборе критического уровня функциональности F_{cr} в диапазоне от 0,01 до 0,95 различие в выборочных значениях для $t_{j1} \sim E_x$ и $t_{j2} \sim W_b$ является значимым на уровне значимости 0,05.

В рассматриваемой структуре (рис.1) ключевую роль играет показатель x_6 . Поэтому во втором эксперименте рассмотрено влияние среднего значения случайной величины интервала времени t_6 сохранения функциональности материалом по этому показателю на распределение и среднее значение T_s . В эксперименте интервалы времени t_j для всех показателей генерировались по экспоненциальному закону, а варьируемая величина (среднее значение

Sr_t6) изменялась на шести равноотстоящих уровнях от минимального до максимального значения средних для всех t_j . Для оценки значений T_s выполнено 5000 повторных прогонов модели при каждом уровне значений Sr_t6 .

На рис.2 приведены гистограммы значений T_s . Видно, что форма распределения T_s практически не зависит от Sr_t6 и является унимодальной с положительными модой и асимметрией и весьма протяженным правым "хвостом".

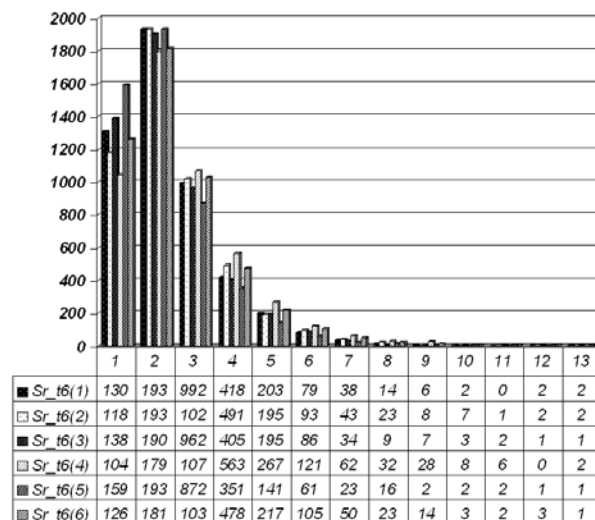


Рис. 2

В табл.1 приведены оценки средних $SrTs$, медиан $MeTs$, мод $MoTs$ и коэффициентов вариации $CvTs$ при различных значениях Sr_t6 , из которых следует, что и числовые характеристики распределения T_s не зависят от значений среднего времени сохранения функциональности материала по показателю x_6 .

Т а б л и ц а 1

	$Sr_t6(1)$	$Sr_t6(2)$	$Sr_t6(3)$	$Sr_t6(4)$	$Sr_t6(5)$	$Sr_t6(6)$
$SrTs$	8,329	8,495	8,330	8,460	8,274	8,392
$MeTs$	6,909	7,1576	7,026	7,034	6,966	7,058
$MoTs$	0,594	0,761	0,416	0,337	0,546	0,482
$CvTs$	66,82	66,78	65,67	67,32	65,79	67,11

ВЫВОДЫ

Предложена модель прогнозирования функциональности тканого материала на примере его огнестойкости. Выполнена оценка времени сохранения материалом

его функциональности и исследована зависимость этого времени от характеристик показателей, влияющих на огнестойкость ткани. Установлено, что при прогнозировании функциональности материала необходимо знать не только усредненные чи-

словые характеристики отдельных показателей материала, но и их законы распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Забродин Д.А., Севостьянов П.А.* Моделирование потери свойств текстильных материалов как задача теории надежности // *Химические волокна*. – 2009, №4. С.41...43.

2. *Кельтон В., Лоу А.М.* Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд. – Спб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и систем автоматизированного проектирования. Поступила 15.09.10.
