

УДК 677.011

**РАНЖИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА  
ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

**RATING QUALITY INDICATORS  
OF GEOSYNTHETIC MATERIALS  
WITH APPLICATION OF THE THEORY OF FUZZY SETS**

*М.А. ЛЫСОВА, Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, А.А. КУСЕНКОВА, В.Н. ГУСЕВ, Е.Н. КАЛИНИН*

*M.A. LYSOVA, N.A. GRUZINTSEVA, A.A. KUSENKOVA, V.N. GUSEV, E.N. KALININ*

**(Ивановский государственный химико-технологический университет,  
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Ivanovo State of Chemistry and Technology University,  
Ivanovo State Politechnical University)**

E-mail: lysova7@yandex.ru; mtsm@ivgpu.com

*При комплексной оценке качества текстильных изделий, помимо определения состава единичных показателей качества, необходимо установить их приоритетность (весомость) в итоговом результате.*

*In a comprehensive assessment of the quality of textiles, in addition to determining the composition of individual quality indicators, it is necessary to establish their priority (weight) in the final result.*

**Ключевые слова:** геосинтетические материалы, показатели качества, методика ранжирования.

**Keywords:** geosynthetic materials, quality indicators, ranking methods.

При комплексной оценке качества потребительской продукции наиболее ответственным этапом является определение не только номенклатуры единичных показателей качества (ЕПК), но и установление их весовости. Одним из методов ранжирования ЕПК является экспертный метод с использованием для обработки полученных данных теории нечетких множеств [1]. Данный метод для объектов текстильной и легкой промышленности применяется сравнительно недавно [2...4] и по этой причине требует дальнейшего развития с применением разнообразных объектов исследования.

Объектом исследования являлся нетканый геосинтетический материал торговой марки "Геоманит ДТ", произведенный предпри-

ятием ООО "НИПРОМТЕКС" (г. Железногорск Курской области). В качестве ЕПК выбрана группа показателей стойкости к внешним воздействиям, для чего введем кодированное обозначение ЕПК на уровне их свойств:  $X_1$  – водопроницаемость;  $X_2$  – морозостойкость;  $X_3$  – гибкость;  $X_4$  – грибоустойчивость;  $X_5$  – устойчивость к агрессивным средам;  $X_6$  – устойчивость к воздействию ультрафиолетового излучения;  $X_7$  – устойчивость к циклическим нагрузкам.

Работа экспертов заключалась в формировании ранжированного ряда ЕПК (табл. 1) с использованием шкалы порядка от 1 до 7, где наиболее значимому показателю присваивается наибольший балл.

Т а б л и ц а 1

Номер эксперта	Единичные показатели качества						
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
1	5	6	1	2	4	3	7
2	5	4	1	2	7	3	6
3	7	6	2	3	5	1	4
4	5	4	2	3	6	1	7
5	5	4	3	2	7	1	6
6	4	5	3	1	6	2	7
7	6	7	3	1	4	2	5
8	6	4	5	3	7	1	2
9	5	4	2	1	6	3	7
10	4	6	3	2	7	1	5

На первом этапе осуществляли анализ надежности мнений экспертов. С этой целью составим матрицу парных сравнений [5]:

$P = (p_{ij})$   $p_{ij} = 1/p_{ji}$ ,  $i = \overline{1, n}$   $j = \overline{1, n}$  и из уравнения  $P \bar{a} = \lambda \bar{a}$  найдем собственные значе-

ния  $\lambda$  матрицы  $P$  ( $\bar{a} = (a_1 a_2 \dots a_n)$  собственный вектор). Отклонения  $|\lambda_{\max} - n|$  служат мерой надежности экспертов.

Для первого эксперта матрица парных сравнений будет иметь вид:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1,2 & 0,2 & 0,4 & 0,8 & 0,6 & 1,4 \\ 0,83 & 1 & 0,17 & 0,33 & 0,67 & 0,50 & 1,17 \\ 5 & 6 & 1 & 2 & 4 & 3 & 7 \\ 2,5 & 3 & 0,5 & 1 & 2 & 1,5 & 3,5 \\ 1,25 & 1,5 & 0,25 & 0,5 & 1 & 0,75 & 1,75 \\ 1,67 & 2 & 0,33 & 0,67 & 1,33 & 1 & 2,33 \\ 0,71 & 0,86 & 0,14 & 0,29 & 0,57 & 0,43 & 1 \end{pmatrix}.$$

Из уравнения  $\det |P - \lambda E| = 0$  найдем собственные значения. Для этого осуществля-

ли преобразования с использованием аппарата MathCad:

$$f(\lambda) = -\lambda^7 + 7\lambda^6 + 0,6\lambda^5 + 0,00198\lambda^4. \quad (1)$$

Вычислим корни уравнения (1):

$$v := f(x) \text{ coeffs} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0,00198 \\ 0,6 \\ 7 \\ -1 \end{pmatrix} \quad \text{polyroots}(v) = \begin{pmatrix} -0,081 \\ -3,438 \cdot 10^{-3} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 7,085 \end{pmatrix}.$$

В итоге имеем максимальное собственное значение  $\lambda_{\max} = 7,085$ . Тогда  $|\lambda_{\max} - n| = 0,085$ , то есть суждение первого эксперта надежно. Аналогично проверяли на надежность и остальных экспертов. В итоге проверка подтвердила компетентность всех экспертов.

Анализ данных табл. 1 показывает, что оценки экспертов отличаются и в ряде случаев носят противоречивый характер. Поэтому на следующем этапе осуществляли формализацию мнений экспертов путем подсчета частоты появления  $f_{ji}$  балла  $j$  для каждого показателя  $X_i$ , результаты которого приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Мнение (баллы), $j$	$f_{j1}$	$f_{j2}$	$f_{j3}$	$f_{j4}$	$f_{j5}$	$f_{j6}$	$f_{j7}$
1	0	0	2	3	0	5	0
2	0	0	3	4	0	2	1
3	0	0	4	3	0	3	0
4	2	5	0	0	2	0	1
5	5	1	1	0	1	0	2
6	2	3	0	0	3	0	2
7	1	1	0	0	4	0	4
$\sum_{i=1}^7 f_{ji}$	10	10	10	10	10	10	10

Далее для каждого показателя  $X_i$  строили нечеткие множества общего вида [6]:

$$\hat{D}_i = \{j \mid \mu_{ji}(X_i), j = \overline{1, 7}\}, \quad (2)$$

где  $\mu_{ji}(X_i)$  – функция принадлежности.

Для рассматриваемого примера функция принадлежности равна:

$$\mu_{ji}(X_i) = \frac{f_{ji}}{\sum_{j=1}^7 f_{ji}}. \quad (3)$$

Отметим, что функция принадлежности (3) нормирована таким образом, что является также и оценкой вероятности присвоения балла  $j$  параметру  $X_i$ .

В итоге построенные нечеткие множества для показателей  $X_1 \dots X_7$  имеют следующий вид:

$$\hat{D}_1 = \{(3 \mid 0,2), (4 \mid 0,5), (5 \mid 0,2), (6 \mid 0,1)\},$$

...

$$\hat{D}_7 = \{(1 \mid 0,1), (3 \mid 0,1), (4 \mid 0,2), (5 \mid 0,2), (6 \mid 0,4)\}.$$

На следующем этапе определяли показатель с наибольшим весом. Таковым являлся тот, для которого в соответствующем нечетком множестве наибольшее значение принимает математическое ожидание  $M_i$ , определяемое согласно выражению:

$$M_i = \sum_{X \in \text{sup } \hat{D}_i} X_i \mu_i(X). \quad (4)$$

Результаты расчета  $M_i$  представлены в табл. 3.

Показателю с наибольшим значением  $M_i$  ( $M_5 = 4,9$ ) присвоим для определенности  $\beta_5 = 1$ . Остальные веса рассчитаем, воспользовавшись расстоянием Хэмминга [1]:

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)|, \quad (5)$$

где  $n$  – мощность рассматриваемых множеств  $A$  и  $B$ .

Например,  $d(M_1, M_5) = (|0,2 - 0,2| + |0,1 - 0,5| + |0,3 - 0,2| + |0,4 - 0,1|) = 0,8$ . Аналогично:  $d(M_2, M_5) = 0,8$ ,  $d(M_3, M_5) = 0,9$ ,  $d(M_4, M_5) = 1,9$ ,  $d(M_6, M_5) = 2$ ,  $d(M_7, M_5) = 0,4$ .

Т а б л и ц а 3							
$i$	1	2	3	4	5	6	7
$M_i$	4,2	3,9	1,5	1	4,9	0,8	4,6
$\beta_i$	0,88	0,88	0,87	0,72	1	0,71	0,94
$\alpha_i$	0,15	0,15	0,14	0,12	0,17	0,11	0,16

В данном случае выявлено, что из всего перечня представленных ЕПК наиболее значимыми в группе показателей стойкости к внешним воздействиям для оценки качества нетканых геотекстильных материалов оказались: устойчивость к агрессивным средам, устойчивость к циклическим нагрузкам, морозостойкость и водопроницаемость. Достоинством рассмотренного метода ранжирования ЕПК является то, что, несмотря на мнения экспертов, поставивших низкие баллы, возможно исключение незначимых показателей.

## В Ы В О Д Ы

Предложена методика экспертного ранжирования единичных показателей качества с использованием аппарата нечетких множеств, осуществленная на примере показателей качества из группы стойкости к внешним воздействиям нетканых геосинтетических материалов, предназначенных для дорожного строительства.

Самый высокий вес присваивается множеству с наименьшим расстоянием Хэмминга по формуле:

$$\beta_i = 1 - \frac{d(M_i, M_5)}{\sum_{i \neq 5} d(M_i, M_5)}. \quad (6)$$

Результаты определения  $\beta_i$  приведены в табл. 3.

Окончательные веса  $\alpha_i$ , ранжирующие ЕПК по их значимости, рассчитываются исходя из следующего соотношения:

$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^n \beta_i}. \quad (7)$$

Результаты расчетов  $\alpha_i$  также приведены в табл. 3

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бинوم, 2017.
2. *Васильева В.Д., Дербинер Е.В., Дербинер В.Е.* Совершенствование метода ранжирования показателей качества текстильных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 3. С.15...17.
3. *Чагина Л.Л.* Методика комплексной оценки качества льняных трикотажных полотен для верхних изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №6. С. 16...21.
4. *Луныкова С.В., Виноградова Н.В., Гусев Б.Н.* Количественная оценка эстетического вида швейных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С. 65...68.
5. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
6. *Лысова М.А., Ломакина И.А., Луныкова С.В., Гусев Б.Н.* Математические методы в проектировании и оценивании качества текстильных материалов и изделий. – Иваново: ИГТА, 2012.

## R E F E R E N C E S

1. *Pegat A.* Nечetкое modelirovanie i upravlenie. – M.: Binom, 2017.

2. Vasil'eva V.D., Derbisher E.V., Derbisher V.E. Sovershenstvovanie metoda ranzhirovaniya pokazateley kachestva tekstil'nykh materialov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2008, № 3. S.15...17.

3. Chagina L.L. Metodika kompleksnoy otsenki kachestva l'nyanykh trikotazhnykh poloten dlya verkhnykh izdeliy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №6. S. 16...21.

4. Lun'kova S.V., Vinogradova N.V., Gusev B.N. Kolichestvennaya otsenka esteticheskogo vida shveynykh izdeliy // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №6. S. 65...68.

5. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierar-khiy. – M.: Radio i svyaz', 1993.

6. Lysova M.A., Lomakina I.A., Lun'kova S.V., Gusev B.N. Matematicheskie metody v proektirovanii i otse-nivanii kachestva tekstil'nykh materialov i izdeliy. – Iva-novo: IGTA, 2012.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товароведения, метрологии и стандартизации Института текстильной индустрии и моды ИВГПУ. Поступила 21.01.19.

---