

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 λ 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
β_i	0,88	0,88	0,87	0,72	1	0,71	0,94
α_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 β_i приведены в табл. 3.

Окончательные веса α_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 α_i также приведены в табл. 3

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Пегат А.* Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бинум, 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.
