

**УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ФУНКЦИЙ
ГЕОТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В СТРОИТЕЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ
С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА НЕГО**

**ESTABLISHING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FUNCTIONS PERFORMED
GEOTEXTILE MATERIAL IN A CONSTRUCTION
OBJECT WITH TECHNOLOGICAL INFLUENCES ON IT**

М.А. ЛЫСОВА, Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, Т.В. МОСКВИТИНА, Б.Н. ГУСЕВ

M.A. LYSOVA, N.A. GRUZINTSEVA, T.V. MOSKVITINA, B.N. GUSEV

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

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

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

В статье с применением экспертных методов осуществляется установление взаимосвязи между выполняемыми функциями геосинтетического нетканого полотна, применяемого в нижних слоях дорожной одежды, и технологическими воздействиями, оказываемыми на него. Данная операция является ключевой при осуществлении процесса проектирования качества инновационных геосинтетических нетканых полотен с учетом существующих нормативных требований при строительстве автомобильных дорог.

The article uses expert methods to establish the relationship between the functions performed by geosynthetic non-woven fabric used in the lower layers of the roadway, and the technological effects exerted on it. This operation is a key part of the design process for the quality of innovative geosynthetic nonwovens taking into account existing regulatory requirements in construction.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, показатели качества, экспертные методы.

Keywords: geosynthetic materials, quality indicators, expert methods.

Проектирование необходимого уровня качества (как совокупности эксплуатационных свойств) инновационной геосинтетической продукции, предназначенной для применения ее в конкретном строительном объекте, требует, в первую очередь, выявления всех возможных технологических воздействий на данную продукцию для обеспечения предусмотренными соответствующими нормативными документами базовых значений показателей качества, а также уровня ее долговечности [1...3]. Особенно эти требования относятся к строительным объектам, которые активно под-

вергаются производственной эксплуатации, а именно к автомобильным дорогам.

Технологические процессы строительства автомобильных дорог [4], [5] предусматривают использование в дорожной одежде нетканых (например, при разделении прослоек и в качестве дренажа) и тканых (например, при армировании грунтовых оснований) геотекстильных полотен. Ввиду того, что они выполняют неодинаковые функции в дорожной одежде, по этой причине будут подвергаться различным технологическим воздействиям.

В качестве объекта исследования выбрано геосинтетическое нетканое полотно (ГПТ-НТ) [5] марки "Геоманит ДТ 5с 300" с поверхностной плотностью 300 г/м², произведенное ООО "Нипромтекс" (г. Железногорск, Курская область) из полиэфирного волокна и предназначенное для строительства автомобильных дорог в основании дорожной одежды и дополнительных ее слоях.

Для решения выявленной проблемы использовали метод экспертных оценок [6], который основан на декомпозиции задачи и представлении ее в виде иерархической структуры, что позволяет включить в иерархию все решения и знания по решаемой проблеме, а также последующей обработке данных.

При определении необходимого количества экспертов использовали рекомендации [7], где число экспертов m (в случае, если оно заведомо меньше 30 человек) зависит от дисперсии возможных значений выборочной средней μ^2 и дисперсии генеральной совокупности σ^2 и определяется выражением:

$$m = \frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1. \quad (1)$$

В [7] приводятся рекомендуемые численные значения количества экспертов в составе рабочей группы, полученные из выражений (1) для ряда типовых значений отношения $\frac{\mu^2}{\sigma^2}$, обозначающего уровень значимости принимаемого решения. Поскольку в методе анализа иерархий для выражения уровня значимости используется отношение согласованности (ОС), значение

которого допустимо до 0,15, то получаем, что наиболее приемлемое количество экспертов в составе группы должно быть восемь человек.

В результате было выбрано и опрошено восемь экспертов из числа специалистов в области дорожного строительства, работающих на кафедре автомобильных дорог ИВГПУ.

При применении метода анализа иерархий на первом этапе исследуемая проблема представлена в виде иерархической структуры (рис. 1).

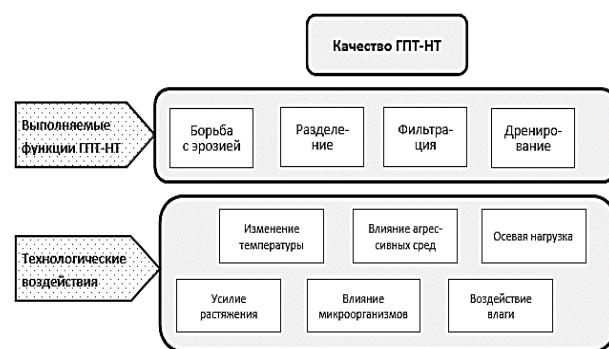


Рис. 1

Нулевой (верхний) уровень отражает общую цель исследования по проектированию качества ГПТ-НТ на основе выполняемых им функций. На первом уровне расположены функции геосинтетического материала, на втором – возможные технологические воздействия на него в дорожной одежде.

Вариантам в иерархическом представлении проблемы исследования соответствуют функции геотекстильного материала, а альтернативам – технологические воздействия. Функции и технологические воздействия (табл. 1) были выделены с использованием нормативной литературы [4], [5].

Т а б л и ц а 1

Функции	Технологические воздействия
Разделение Борьба с эрозией Фильтрация Дренажное	Воздействие влаги Изменение температуры Влияние микроорганизмов Влияние агрессивных сред Осевая нагрузка Усилие растяжения

На втором этапе метода анализа иерархий проводили установление приоритетов вариантов (функции) и альтернатив (технологические воздействия). С этой целью было составлено пять матриц парных сравнений (в табл. 2 представлен пример одной из матрицы парных сравнений для функции

"разделение"), в которых эксперты отмечали свои суждения о значимости одной альтернативы по сравнению с другой или одного варианта по сравнению с другим по отношению к их влиянию на общую для них характеристику.

Т а б л и ц а 2

Функция "разделение"	Воздействие влаги	Изменение температуры	Влияние микроорганизмов	Влияние агрессивных сред	Осевая нагрузка	Усилие растяжения
Воздействие влаги						
Изменение температуры						
Влияние микроорганизмов						
Влияние агрессивных сред						
Осевая нагрузка						
Усилие растяжения						

В каждой из таблиц эксперты заполняли только клетки над главной диагональю. Так как варианты и альтернативы сравниваются на уровне качественных характеристик, то

для оценки вариантов по этим критериям необходимо прибегнуть к какому-нибудь способу квантификации, например, к балльным оценкам в соответствии с табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Оценка	Смысл оценки
1	Одинаковая значимость
3	Слабое преобладание
5	Существенное преобладание
7	Очевидное или очень сильное преобладание
9	Абсолютное доминирование
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения
Обратные величины	Если эксперт отдает предпочтение второму критерию, то он пользуется обратными величинами

Сравнивая набор альтернатив (вариантов) друг с другом, получаем следующую матрицу суждений:

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \frac{1}{a_{3n}} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где a_{ij} – оценка, выставленная экспертом согласно табл. 3 при заполнении матрицы парных сравнений, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$.

С целью выявления относительной ценности каждого элемента вычисляем среднее геометрическое для каждой строки матрицы суждений:

$$\omega_i = \sqrt[n]{a_{i1} a_{i2} \dots a_{in}}. \quad (3)$$

Далее проводим нормализацию полученных чисел:

$$q_{2i}^k = \frac{\omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, n},$$

где k – номер матрицы; i – номер строки матрицы; (цифра 2 обозначает уровень матрицы в иерархической структуре).

А затем вычисляем приоритеты каждого варианта по формуле:

$$q_j = \sum_{i=1}^n q_{2j}^i q_{1i}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Метод анализа иерархий дает возможность осуществить оценку степени согласованности мнений экспертов. Для этого вычисляется оценка степени отклонения от согласованности. Когда такие отклонения превышают установленные пределы тем, кто проводит решение задачи, необходимо их пересмотреть. С этой целью определяют индекс согласованности и отношение согласованности. Индекс согласованности (ИС) в каждой матрице и для всей иерархии может быть выражен следующим способом:

- определяется сумма каждого j -го столбца матрицы суждений:

$$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad j = \overline{1, n};$$

- полученный результат (6) умножается на j -ю компоненту нормализованного вектора приоритетов q_2 , то есть сумму суждений первого столбца на первую компоненту, сумму суждений второго столбца – на вторую и т.д.:

$$p_j = s_j q_{2j}, \quad j = \overline{1, n};$$

- сумма чисел p_j отражает пропорциональность предпочтений, чем ближе эта величина к n (числу объектов и видов действия в матрице парных сравнений), тем более согласованы суждения:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n p_j;$$

- в итоге индекс согласованности (ИС) определяется по формуле:

$$\omega_1 = \sqrt[6]{1 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 3 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{5}} = 0,918; \dots \omega_6 = \sqrt[6]{5 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 1} = 3,093; \sum_{i=1}^6 \omega_i = 8,763.$$

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (5)$$

Для определения того, насколько точно индекс согласованности ИС отражает согласованность суждений, его необходимо сравнить со случайным индексом (СИ) согласованности, который соответствует матрице со случайными суждениями, выбранными из шкалы, представленной в табл. 3, при условии равной вероятности выбора любого из приведенных чисел.

Для матрицы суждений шестого порядка значение индекса согласованности составляет 1,24 [7].

Отношение индекса согласованности ИС к среднему значению случайного индекса согласованности СИ называется отношением согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{СИ}. \quad (6)$$

Значение ОС меньше или равное 0,15 считается приемлемым, однако допустимо и значение до 0,2.

Используя свойство матриц парного сравнения

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n},$$

для табл. 2 получаем следующую матрицу парных сравнений:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 3 & 1/5 & 1/5 \\ 1 & 1 & 5 & 3 & 1/5 & 1/5 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/7 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 5 & 5 & 7 & 5 & 1 & 1 \\ 5 & 5 & 7 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В дальнейшем вычисляем числа $\omega_i, i = \overline{1, 6}$ по формуле (3) и их сумму:

По формуле (4) проводим нормализа-

цию полученных чисел:

$$q_{21}^1 = 0,105; q_{22}^1 = 0,105; q_{23}^1 = 0,029; q_{24}^1 = 0,056; q_{25}^1 = 0,353; q_{26}^1 = 0,353.$$

Аналогичные вычисления проводим для

остальных таблиц вариантов и альтернатив (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Технологические воздействия	Разделение	Борьба с эрозией	Фильтрация	Дренаживание	Приоритет
	0,276	0,319	0,243	0,162	
Воздействие влаги	0,105	0,271	0,329	0,475	0,272
Изменение температуры	0,105	0,067	0,037	0,099	0,075
Влияние микроорганизмов	0,029	0,271	0,180	0,099	0,154
Влияние агрессивных сред	0,058	0,033	0,339	0,099	0,124
Осевая нагрузка	0,353	0,271	0,073	0,206	0,335
Усилие растяжения	0,353	0,087	0,042	0,021	0,139

В дальнейшем проводим вычисления для матриц парных сравнений, сформированных суждениями остальных экспертов, и по формуле (5) вычисляем приоритеты каждого технологического воздействия (табл. 4). Вычислив, среднее геометрическое приоритетов каждого из экспертов, в итоге получили ранги технологических воздействий, представленные в последней графе табл. 4.

По формулам (5) и (6) вычислим отношение согласованности мнений экспертов на примере матрицы (7). Имеем:

$$p = (1,31; 1,31; 0,81; 0,96; 0,97; 0,97);$$

$$\lambda_{\max} = 6,34;$$

$$ИС = \frac{6,34 - 6}{5} = 0,068;$$

$$ОС = \frac{0,068}{1,24} = 0,05.$$

Значение $ОС < 0,15$ свидетельствует о согласованности мнений экспертов.

ВЫВОДЫ

С использованием экспертного метода анализа иерархий установлена взаимосвязь между выполняемыми функциями геосин-

тетического нетканого полотна, используемого в нижних слоях дорожной одежды, и технологическими воздействиями на него. Показано, что приоритетным воздействием является осевая нагрузка на полотно, а менее подверженным фактором – изменение температуры.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р ИСО 10006–2005. Система менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании.
- Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Москвитина Т.В., Гусев Б.Н. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С. 19...22.
- Федосов С.В., Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Гусев Б.Н. Установление приоритетности между показателями надежности геотекстильных материалов для дорожного строительства // Изв. вузов. Строительство. – 2016, №3. С. 57...62.
- ОДМ 218.5.005–2010. Отраслевой дорожный методический документ. Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству.
- ОДМ 218.2.046–2014. Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве.
- Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.

7. Постников В.М. Анализ подходов к формированию экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Наука и образование. – 2012, № 5. С. 333...346 / [Электронный ресурс]: <http://technomag.edu.ru/doc/360720.htm>

REFERENCES

1. GOST R ISO 10006–2005. Sistema menedzhmenta kachestva. Rukovodstvo po menedzhmentu kachestva pri proektirovanii.

2. Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Moskvitina T.V., Gusev B.N. Obespechenie trebuemogo urovnya kachestva geotekstil'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №2. S. 19...22.

3. Fedosov S.V., Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Gusev B.N. Ustanovlenie prioritnosti mezhdu pokazatelyami nadezhnosti geotekstil'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2016, №3. S. 57...62.

4. ODM 218.5.005–2010. Otrasevyy dorozhnyy metodicheskiy dokument. Klassifikatsiya, terminy, opredeleniya geosinteticheskikh materialov primenitel'no k dorozhnomu khozyaystvu.

5. ODM 218.2.046–2014. Rekomendatsii po vyboru i kontrolyu kachestva geosinteticheskikh materialov, primenyaemykh v dorozhnom stroitel'stve.

6. Saati T. Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy. – M.: Radio i svyaz', 1993.

7. Postnikov V.M. Analiz podkhodov k formirovaniyu ekspertnoy gruppy, orientirovannoy na podgotovku i prinyatie resheniy // Nauka i obrazovanie. – 2012, № 5. S. 333...346 / [Elektronnyy resurs]: <http://technomag.edu.ru/doc/360720.htm>

Рекомендована кафедрой материаловедения и товароведения, метрологии и стандартизации ИВГПУ. Поступила 20.10.20.