

УДК 677.076.4  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_3\_70

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С ФУНКЦИЕЙ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ И САМОРЕГУЛЯЦИИ,  
СФОРМИРОВАННЫХ ПУТЕМ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ВОЛОКОН  
В ПОТОКЕ ВОЗДУХА \***

**ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THERMAL INSULATION  
NONWOVEN MATERIALS WITH THE FUNCTION OF THERMAL REGULATION  
AND SELF-REGULATION FORMED  
BY DISPERSION OF FIBERS IN THE AIRFLOW**

*Е.В. МЕЗЕНЦЕВА, В.Ю. МИШАКОВ*

*E.V. MEZENTSEVA, V.YU. MISHAKOV*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),  
ООО "Термопол")

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),  
Thermopol, LLC)

E-mail: yelena\_ev@mail.ru; viktormishakov@rambler.ru

*Представлена оценка уровня качества термоскрепленных нетканых материалов различного сырьевого состава и поверхностной плотности с применением дифференциальной и комплексной оценки качества. Обобщенный комплексный показатель рассчитан путем применения квалиметрического подхода. Рассчитаны средняя арифметическая, средняя геометрическая и средняя гармоническая комплексные оценки для нетканых материалов, разделенных по группам поверхностной плотности и в результате "слепых" испытаний.*

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90010.

\* Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number № 19-38-90010.

*An assessment of the quality level of thermally bonded nonwoven materials of various fibers and surface densities by applying a differential and comprehensive quality assessment is presented. The generalized complex indicator is calculated by applying the qualimetric approach. The arithmetic mean, the geometric mean, and harmonic mean complex estimates are calculated for nonwoven materials, divided by surface density groups and in the result of "blind" tests.*

**Ключевые слова:** нетканые материалы, утеплитель, полиакрилатные волокна, холлофайбер, квалиметрический подход, комплексный показатель, оценка качества, аэродинамический способ формирования холста.

**Keywords:** nonwoven materials, insulation, polyacrylate fibers, hollowfiber, qualimetric approach, complex indicator, quality assessment, aerodynamic method of web formation.

Целью настоящего исследования является оценка качества теплоизоляционных нетканых материалов различного волокнистого состава и поверхностной плотности с функцией терморегуляции и саморегуляции.

Объектом исследования являются нетканые теплоизоляционные материалы, разработанные и произведенные на площадке промышленного партнера ООО "Термопол" [1].

Предметом исследования является оценка качества нетканых материалов путем применения дифференциальной и комплексной оценки качества.

Для обеспечения выпуска высококачественных теплоизоляционных нетканых материалов необходимо установить систематическую оценку качества при серийном производстве [2].

В зависимости от методов сравнения фактических показателей качества с базовыми, оценка качества может быть дифференциальной, комплексной, смешанной, может носить формальный или вероятностный характер [3].

Сопоставление показателей качества объектов исследования при дифференциальной оценке проводилось путем подсчета относительных показателей качества продукции (формулы (1), (2)).

Для позитивных показателей качества:

$$\Pi_0^{(+)} = \frac{\Pi_\Phi}{\Pi_6}. \quad (1)$$

Для негативных показателей качества:

$$\Pi_0^{(-)} = \frac{\Pi_6}{\Pi_\Phi}, \quad (2)$$

где  $\Pi_0^{(+)}$  – позитивный относительный показатель качества;  $\Pi_0^{(-)}$  – негативный относительный показатель качества;  $\Pi_\Phi$  – фактическое значение показателя качества;  $\Pi_6$  – базовое значение показателя качества [3].

Обобщенный комплексный показатель подсчитывался с помощью средней арифметической (формула (3)), средней геометрической (формула (4)) и средней гармонической (формула (5)) комплексных оценок [4].

$$K = \Pi_{01}Z_1 + \Pi_{02}Z_2 + \dots + \Pi_{0n}Z_n = \sum_{i=1}^n \Pi_{0i}Z_i, \quad (3)$$

где  $\Pi_{0i}$  – безразмерное значение  $i$ -го показателя качества;  $n$  – число определяющих показателей качества;  $Z_i$  – коэффициент весомости  $\sum_{i=1}^n Z_i = 1$ .

$$G = \Pi_{01}^{Z_1} \Pi_{02}^{Z_2} \dots \Pi_{0n}^{Z_n} = \prod_{i=1}^n \Pi_{0i}^{Z_i}, \quad (4)$$

$$H = \frac{1}{\frac{Z_1}{\Pi_{01}} + \frac{Z_2}{\Pi_{02}} + \dots + \frac{Z_n}{\Pi_{0n}}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{\Pi_{0i}}}. \quad (5)$$

Перевод фактических значений в безразмерные осуществлялся с помощью: относительных показателей, рангов (формулы (6), (7)), баллов (формулы (8), (9)), функции желательности (формула (11)) [3].

Для позитивных показателей качества:

$$R_n = R_{\max} - (R_{\max} - R_{\min}) \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (6)$$

Для негативных показателей качества:

$$R_n = R_{\min} + (R_{\max} - R_{\min}) \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (7)$$

где  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$  – максимальные и минимальные ранговые оценки худшего и лучшего показателя качества;  $x_i$  – показатель качества, для которого определяют непрерывный ранг;  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальные и минимальные показатели качества, оцениваемые рангами.

Для применения балльных оценок применялись 3- и 9-балльные шкалы.

Для позитивных показателей качества:

$$B_{Hi}^{(+)} = B_{\min} + И. \quad (8)$$

Для негативных показателей качества:

$$B_{Hi}^{(-)} = B_{\max} - И. \quad (9)$$

Значение И вычислялось по формуле:

$$И = (B_{\max} - B_{\min}) \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (10)$$

где  $B_{\max}$ ,  $B_{\min}$  – максимальная и минимальная оценки в баллах;  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальное и минимальное значения оцениваемых показателей качества [3].

Функция желательности (показатель желательности) – безразмерная непрерывная характеристика показателя качества,

изменяющаяся от 0 до 1, определялась по формуле [4], [5]:

$$d = e^{-e^{-y}} \quad (11)$$

при  $-\infty < y < \infty$ .

Для определения показателя желательности размерные показатели качества  $X$  переводились в безразмерные, используя зависимость:

$$y = a_0 + a_1 x. \quad (12)$$

Коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$  находили по табл. [3].

В данном исследовании было проведено сравнение девяти образцов теплоизоляционных нетканых материалов с целью подбора наиболее рационального. Сравнение проводилось как с группированием по поверхностной плотности, так и в целом по всем исследуемым теплоизоляционным нетканым материалам ("слепые испытания"). Нумерация теплоизоляционных нетканых материалов (ТНМ) и их состав представлены в табл. 1 (исследуемые теплоизоляционные нетканые материалы), фактические значения определяющих показателей качества, которые расположены в порядке их значимости, представлены в табл. 2. Перечень определяющих показателей и коэффициенты значимости определены в результате построения причинно-следственной схемы и экспертного опроса [6], [7].

Т а б л и ц а 1

Наименование	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Содержание полиэфирных волокон, %	Содержание полиакрилатных волокон, %	Содержание легкоплавких волокон, %
ТНМ № 1	100	80	0	20
ТНМ № 2	100	45	35	20
ТНМ № 3	100	10	70	20
ТНМ № 4	150	80	0	20
ТНМ № 5	150	45	35	20
ТНМ № 6	150	10	70	20
ТНМ № 7	200	80	0	20
ТНМ № 8	200	45	35	20
ТНМ № 9	200	10	70	20

В результате проведенной дифференциальной оценки качества установлено:

– теплоизоляционные нетканые материалы поверхностной плотностью 100 г/м<sup>2</sup>: ТНМ № 1 и ТНМ № 3 не соответствуют ба-

зовому образцу, т.к. ряд относительных показателей: гигроскопичность ( $y$  ТНМ № 1), изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине и ширине меньше единицы; ТНМ № 2 по всем относительным

показателям имеет положительную оценку и соответствует базовому образцу;

– теплоизоляционные нетканые материалы поверхностной плотностью 150 г/м<sup>2</sup>: ТНМ № 4 и ТНМ № 6 не соответствуют базовому образцу, т.к. ряд относительных показателей: гигроскопичность (у ТНМ № 4), изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине и ширине меньше единицы; ТНМ № 5 по всем относительным показателям имеет положительную оценку и соответствует базовому образцу;

– теплоизоляционные нетканые материалы поверхностной плотностью 200 г/м<sup>2</sup>: ни один из ТНМ не соответствует базовому образцу. Так, относительные показатели ТНМ № 7: гигроскопичность, изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине и ширине меньше единицы. Относительный показатель ТНМ № 8: изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине меньше единицы. Относительный показатель ТНМ № 9: изменение линейных размеров после мокрой обработки по ширине меньше единицы.

Таблица 2

Теплоизоляционные нетканые материалы	Определяющие показатели качества													
	Суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, °С · м <sup>2</sup> /Вт	Суммарное тепловое сопротивление после мокрой обработки, °С · м <sup>2</sup> /Вт	Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с	Гигроскопичность, %	Миграция, шт/150 см <sup>2</sup>	Неровнота по массе, %	Толщина, мм	Устойчивость к многократному сжатию, %	Изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине, %	Изменение линейных размеров после мокрой обработки по ширине, %	Разрывная нагрузка по длине, Н	Разрывная нагрузка по ширине, Н	Разрывное удлинение по длине, %	Разрывное удлинение по ширине, %
ТНМ № 1	0,35	0,34	1900,00	0,70	3,00	4,60	8,00	74,33	-0,40	-0,50	6,57	6,80	30,00	40,90
ТНМ № 2	0,38	0,38	1700,00	15,50	3,00	5,73	7,40	82,33	-0,23	-0,20	7,50	6,93	8,23	6,53
ТНМ № 3	0,37	0,36	1800,00	19,00	5,00	8,33	8,03	59,00	-0,30	-0,30	6,23	5,57	7,70	8,33
ТНМ № 4	0,46	0,45	1600,00	0,80	2,00	6,50	9,73	70,00	-0,30	-0,40	7,73	7,53	28,44	38,73
ТНМ № 5	0,55	0,55	1600,00	17,00	1,00	4,03	9,53	85,67	-0,10	-0,10	10,60	9,57	5,60	5,20
ТНМ № 6	0,48	0,47	1700,00	20,10	3,00	6,60	9,67	70,33	-0,30	-0,20	7,40	7,30	7,27	7,97
ТНМ № 7	0,55	0,51	1340,00	0,99	2,00	6,10	14,53	70,67	-0,40	-0,60	10,17	8,70	15,33	21,83
ТНМ № 8	0,65	0,63	1200,00	18,90	2,00	5,30	11,73	79,33	-0,21	-0,17	10,37	9,08	6,43	6,67
ТНМ № 9	0,54	0,51	1460,00	23,00	4,00	6,73	13,40	60,00	-0,20	-0,25	7,70	7,50	7,33	7,17

При "слепых" испытаниях:

– ТНМ № 1, ТНМ № 4 и ТНМ № 7 не соответствуют базовому образцу, т.к. относительные показатели: гигроскопичность, изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине и ширине меньше единицы;

– ТНМ № 2, ТНМ № 3, ТНМ № 6, ТНМ № 8 и ТНМ № 9 не соответствуют базовому образцу, т.к. относительные показатели: изменение линейных размеров после мокрой обработки по длине и ширине меньше единицы;

– ТНМ № 5 по всем относительным показателям имеет положительную оценку и соответствует базовому образцу.

В результате проведения комплексной оценки качества по относительным показателям теплоизоляционных нетканых материалов средней арифметической комплексной оценки установлено:

– теплоизоляционные нетканые материалы поверхностной плотностью 100 г/м<sup>2</sup>: ТНМ № 2 имеет самую высокую оценку. ТНМ № 2 лучше в 1,60 раза, чем ТНМ № 1, и лучше в 1,17 раза, чем ТНМ № 3;

– теплоизоляционные нетканые материалы поверхностной плотностью 150 г/м<sup>2</sup>: ТНМ № 5 имеет самую высокую оценку. ТНМ № 5 лучше в 1,70 раза, чем ТНМ № 6, и лучше в 1,13 раза, чем ТНМ № 4;

– теплоизоляционные нетканые материалы поверхностной плотностью 200 г/м<sup>2</sup>: ТНМ № 8 имеет самую высокую оценку. ТНМ № 8 лучше в 1,52 раза, чем ТНМ № 9, и лучше в 1,25 раза, чем ТНМ № 7.

По средней геометрической и средней гармонической комплексным оценкам наблюдается та же последовательность.

Анализ комплексных оценок (средней арифметической, средней геометрической, средней гармонической): по дискретным и непрерывным рангам, по дискретным и непрерывным баллам, по функции желательности показывают идентичный результат по выявлению лучших теплоизоляционных нетканых материалов. Установлено, что лучшими являются:

– ТНМ № 2 – при исследовании поверхностной плотности 100 г/м<sup>2</sup>;

– ТНМ № 5 – при исследовании поверхностной плотности 150 г/м<sup>2</sup>;

– ТНМ № 8 – при исследовании поверхностной плотности 200 г/м<sup>2</sup>;

– ТНМ № 5 – при исследовании всех теплоизоляционных нетканых материалов.

Для определения взаимосвязи между комплексными оценками использовался коэффициент корреляции, рассчитанный по формуле [8]:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (13)$$

где  $x_i$  и  $y_i$  – значения случайных величин, между которыми исследуется связь;  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – средние значения случайных величин.

Оценка значимости коэффициента корреляции рассчитывалась по формуле [8]:

$$m_r = \frac{1 - r_{xy}^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (14)$$

где  $n$  – число показателей качества.

При анализе корреляционной связи между средними арифметическими, средними гармоническими, средними геометрическими комплексными оценками по дискретным и непрерывным рангам, по дискретным и непрерывным баллам, по функции желательности наблюдается весьма высокая связь по шкале Чеддока [9] с малой ошибкой. Из этого следует, что при постановке задачи выбора лучшего теплоизоляционного нетканого материала подходит любой из описанных методов. Наиболее простым является использование средней

арифметической комплексной оценки по относительным показателям. Однако, если стоит задача по определению градации теплоизоляционных нетканых материалов в соответствии с имеющимися определяющими показателями качества, например для определения сортности, то наиболее эффективным будет применение средней арифметической комплексной оценки по непрерывным ранговым оценкам.

## ВЫВОДЫ

1. С помощью дифференциального и комплексного методов оценки уровня качества установлено, что при группировании теплоизоляционных нетканых материалов по поверхностной плотности лучшими являются материалы, состоящие из 45% полиэфирных волокон, 35% полиакрилатных волокон и 20% легкоплавких волокон.

2. Установлено, что при оценке качества без разделения теплоизоляционных нетканых материалов по поверхностной плотности лучшим является материал с поверхностной плотностью 150 г/м<sup>2</sup>, состоящий из 45% полиэфирных волокон, 35% полиакрилатных волокон и 20% легкоплавких волокон.

3. Применение дифференциального метода целесообразно использовать при сравнительной оценке качества теплоизоляционных нетканых материалов по выборочным показателям, в то время как комплексный метод оценки качества позволяет оценить продукцию в целом, при этом установлено, что оценка может быть произведена как с группированием теплоизоляционных нетканых материалов по поверхностной плотности, так и без нее. Перевод в безразмерные показатели при этом может осуществляться любым общепринятым способом.

4. Установлено, что для определения сортности теплоизоляционных нетканых материалов наиболее эффективным является применение средней арифметической комплексной оценки по непрерывным ранговым оценкам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Исследования структурных характеристик нетканого объемного термоскрепленного материала, сформированного путем диспергирования волокон в потоке воздуха, содержащего полиакрилатные волокна // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, № 3. С. 29...33.

2. Хакимуллин Ю.Н., Рахматуллина Э.Р., Галимзянова Р.Ю., Лисаневич М.С., Когенман И.Е., Яруллин Р.С. Возможность получения нетканых материалов, стойких к традиционным методам стерилизации в условиях современного производства // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. Т. 16. № 23. С. 118...120.

3. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: Колосс, 2011.

4. Кирюхин С.М., Плеханова С.В. Квалиметрия. – М.: МГУДТ, 2016.

5. S.H. Yeo, M.W. Mak & S.A.P. Balon. Analysis of decision-making methodologies for desirability score of conceptual design // Journal of Engineering Design. – 2004. 15:2. 195...208, DOI: 10.1080/0954482031000164219

6. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Системный анализ экспертных групп текстильной отрасли при выборе определяющих показателей качества на примере теплоизоляционных нетканых материалов // Химические волокна. – 2019, № 5. С. 43...49.

7. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Выбор определяющих показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов с использованием причинно-следственных схем Исикавы // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, № 4. С.108...115.

8. Кирюхин С.М., Гриднева Т.М., Демократова Е.Б. Методы и средства технического контроля и управления качеством текстильных материалов. – М.: МГУДТ, 2013.

9. Галямов Ю.Ю. Концептуальные основы управления и развития регионального промышленного комплекса [Электронный ресурс] / Под общ. ред. С. А. Лочана. – М.: Палеотип, 2011.

## REFERENCES

1. Mezentseva, E.V. Investigation of the structural characteristics of nonwoven bulk thermally bonded material formed by dispersing fibers in an air stream containing polyacrylate fibers / E.V. Mezentseva, V. Yu.

Mishakov // Proceedings of higher educational institutions. Light industry technology, № 3. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design. – 2019. – S. 29 - 33.

2. The possibility of obtaining nonwoven materials resistant to traditional sterilization methods in modern production / Khakimullin Yu.N., Rakhmatullina E.R., Galimzyanova R.Yu., Lisanevich MS, Kogenman I.E., Yarullin R. S. // Bulletin of Kazan Technological University. 2013. Vol. 16. № 23. P. 118-120.

3. Kiryukhin, S.M. Textile materials science: textbooks and teaching aids for students of higher educational institutions / S.M. Kiryukhin, Yu.S. Shustov. – M: Colossus, 2011. – 360 p.

4. Kiryukhin, S. M. Qualimetry / S. M. Kiryukhin, S. V. Plekhanova. Lecture notes: textbook – M.: MGUDT, 2016. - 80 p.

5. Mezentseva, E.V. The choice of determining quality indicators of thermal insulation nonwoven materials by the Heuristic method / E.V. Mezentseva, V.Yu. Mishakov // Proceedings of higher educational institutions. Light industry technology, № 1. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design. – 2019. – S. 39 - 45.

6. Mezentseva, E.V. System analysis of expert groups in the textile industry in the selection of determining quality indicators by the example of thermal insulation nonwoven materials / E.V. Mezentseva, V.Yu. Mishakov // Chemical fibers, № 5. Mytisch: Department of Informatics VNIISV. – 2019. – С. 43 - 49.

7. Mezentseva, E.V., Mishakov V.Yu. The choice of determining quality indicators of thermal insulation nonwoven materials using cause-effect schemes Ishikawa / E.V. Mezentseva, V.Yu. Mishakov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti., № 4 (382). Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University. – 2019. – P.108 - 115.

8. Kiryukhin, S.M. Methods and means of technical control and quality control of textile materials: a training manual / S. M. Kiryukhin, T.M. Gridneva, E.B. Democratova. – M: MGUDT, 2013.

9. Galyamov, Yu.Yu. Conceptual foundations of management and development of a regional industrial complex [Electronic resource]: monograph / Yu. Yu. Galyamov; under the general. ed. S.A. Locana. – M.: Paleotype, 2011.

Рекомендована кафедрой коммерции и сервиса ГГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 09.12.21.