

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ
ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

**SELECTION OF PARAMETERS
FOR EFFECTIVE TECHNICAL CONTROL
USING THE CORRELATION MATRIX DETERMINING INDICATORS
OF QUALITY OF THERMAL INSULATION NONWOVEN MATERIALS**

Е.В. МЕЗЕНЦЕВА^{1,2}, В.Ю. МИШАКОВ¹

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

Представлен анализ взаимосвязи определяющих показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов путем построения корреляционной матрицы и расчета коэффициентов парной и множественной корреляции. Проанализирована природа связей. Оценка силы связи произведена по шкале Чеддока.

The analysis of the relationship of the determining quality indicators of thermal insulation nonwoven materials by constructing a correlation matrix and calculating the coefficients of pair and multiple correlations is presented. The nature of the relationship is analyzed. The strength of the bond was estimated on the Chaddock scale.

Ключевые слова: нетканые материалы, утеплитель, контроль качества, коэффициент корреляции Пирсона, множественная корреляция, корреляционная матрица.

Keywords: nonwoven materials, insulation, quality control, Pearson correlation coefficient, multiple correlation, correlation matrix.

Целью настоящего исследования является определение перечня контролируемых показателей для осуществления технического контроля теплоизоляционных нетканых материалов при промышленном производстве.

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

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

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

Предметом исследования является анализ силы взаимосвязи между определяющими показателями качества теплоизоляционных нетканых материалов с помощью построения корреляционной матрицы.

Выпуск конкурентоспособной продукции невозможен без обеспечения стабильно высокого качества продукции, который в свою очередь обеспечивается за счет контроля качества. Контроль качества позволяет обнаружить дефекты, выявить ошибки

и оперативно их устранить с минимальными потерями для производителя.

Для достижения баланса экономической и технологической эффективности число контролируемых показателей должно быть оптимальным. С одной стороны, их количество должно быть достаточным для осуществления эффективного технического контроля, с другой стороны, их число не должно быть большим с целью экономии времени и финансовых затрат на осуществление контроля качества на производстве.

Т а б л и ц а 1

Определяющие показатели качества	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀	x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅
x ₁	1,00	0,99	-0,92	0,28	-0,52	-0,25	0,75	0,20	0,06	0,44	0,28	0,85	0,84	-0,43	-0,39
x ₂	0,99	1,00	-0,88	0,31	-0,56	-0,30	0,67	0,27	0,08	0,51	0,37	0,85	0,85	-0,45	-0,41
x ₃	-0,92	-0,88	1,00	-0,13	0,42	0,10	-0,81	-0,12	0,08	-0,25	-0,07	-0,78	-0,72	0,34	0,30
x ₄	0,28	0,31	-0,13	1,00	0,36	0,24	-0,03	-0,11	0,93	0,69	0,84	2,99·10 ⁻³	-0,03	-0,89	-0,90
x ₅	-0,52	-0,56	0,42	0,36	1,00	0,77	-0,21	-0,78	0,60	-0,25	-0,05	-0,79	-0,87	-0,14	-0,16
x ₆	-0,25	-0,30	0,10	0,24	0,77	1,00	0,05	-0,85	0,51	-0,27	-0,13	-0,54	-0,67	-0,16	-0,15
x ₇	0,75	0,67	-0,81	-0,03	-0,21	0,05	1,00	-0,25	-0,07	-0,05	-0,28	0,57	0,55	-0,16	-0,10
x ₈	0,20	0,27	-0,12	-0,11	-0,78	-0,85	-0,25	1,00	-0,40	0,37	0,34	0,56	0,60	-0,07	-0,08
x ₉	0,06	0,08	0,08	0,93	0,60	0,51	-0,07	-0,40	1,00	0,45	0,65	-0,27	-0,31	-0,77	-0,78
x ₁₀	0,44	0,51	-0,25	0,69	-0,25	-0,27	-0,05	0,37	0,45	1,00	0,89	0,40	0,43	-0,65	-0,68
x ₁₁	0,28	0,37	-0,07	0,84	-0,05	-0,13	-0,28	0,34	0,65	0,89	1,00	0,17	0,19	-0,73	-0,76
x ₁₂	0,85	0,85	-0,78	2,99·10 ⁻³	-0,79	-0,54	0,57	0,56	-0,27	0,40	0,17	1,00	0,96	-0,32	-0,28
x ₁₃	0,84	0,85	-0,72	-0,03	-0,87	-0,67	0,55	0,60	-0,31	0,43	0,19	0,96	1,00	-0,21	-0,17
x ₁₄	-0,43	-0,45	0,34	-0,89	-0,14	-0,16	-0,16	-0,07	-0,77	-0,65	-0,73	-0,32	-0,21	1,00	1,00
x ₁₅	-0,39	-0,41	0,30	-0,90	-0,16	-0,15	-0,10	-0,08	-0,78	-0,68	-0,76	-0,28	-0,17	1,00	1,00

- x₁ Суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки
- x₂ Суммарное тепловое сопротивление после мокрой обработки
- x₃ Воздухопроницаемость
- x₄ Гигроскопичность
- x₅ Миграция
- x₆ Неровнота по массе
- x₇ Толщина
- x₈ Устойчивость к многократному сжатию

- x₉ Волокнистый состав
- x₁₀ Изменение линейных размеров по длине после мокрой обработки
- x₁₁ Изменение линейных размеров по ширине после мокрой обработки
- x₁₂ Разрывная нагрузка по длине
- x₁₃ Разрывная нагрузка по ширине
- x₁₄ Разрывное удлинение по длине
- x₁₅ Разрывное удлинение по ширине

Существуют различные методы оценки взаимосвязи факторов [2]. Для снижения числа контролируемых параметров в данном исследовании был применен метод построения корреляционной матрицы (табл. 1) с целью выявления связи между определяющими показателями качества, установленными при помощи построения схемы Исикавы и эвристического метода [3...5]. Коэффициенты парной корреляции (Пир-

сона) рассчитывались по формуле (1), оценка достоверности полученных результатов проверялась с помощью ошибки коэффициента корреляции (формула (2)) [6]. Сила корреляционной связи в табл. 1 визуально обозначена цветовой индикацией.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

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

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

где n – число показателей качества.

Для дальнейшего анализа были выбраны пары с коэффициентом корреляции, превышающим 0,8 (высокая и весьма высокая корреляционные связи согласно шкале Чеддока [7]).

В ходе анализа данных выявлено.

Имеется весьма высокая корреляционная связь между парами определяющих показателей качества: суммарное тепловое сопротивление до мокрой и после мокрой обработки (рис. 1 – корреляция между показателями качества: суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки и сум-

марное тепловое сопротивление после мокрой обработки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); изменение линейных размеров по длине после мокрой обработки и по ширине (рис. 2 – корреляция между показателями качества: изменение линейных размеров по длине после мокрой обработки и изменение линейных размеров по ширине после мокрой обработки, %); разрывная нагрузка по длине и по ширине (рис. 3 – корреляция между показателями качества: разрывная нагрузка по длине и разрывная нагрузка по ширине, Н); разрывное удлинение по длине и по ширине (рис. 4 – корреляция между показателями качества: разрывное удлинение по длине и разрывное удлинение по ширине, %). Существующая корреляционная связь свидетельствует о низкой анизотропности объектов исследования, в этом случае целесообразно выбрать только один показатель из пары.

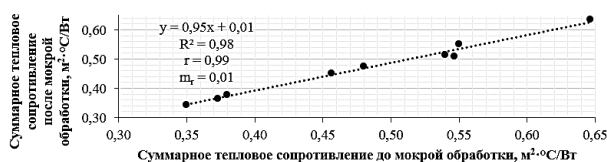


Рис. 1

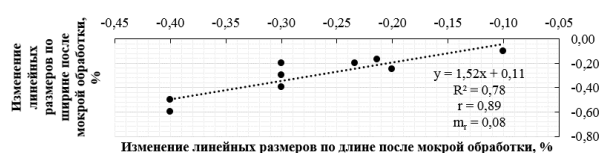


Рис. 2

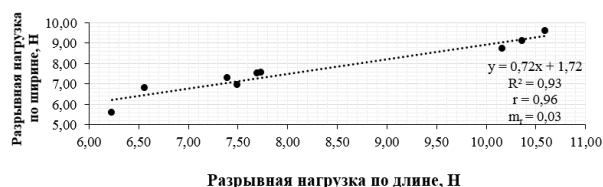


Рис. 3

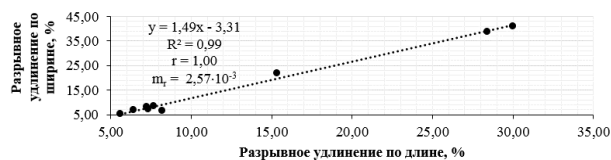


Рис. 4

С точки зрения технического исполнения суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки проще контролировать по сравнению с потенциальным показате-

лем – после мокрой обработки, поэтому для осуществления технического контроля выбран показатель качества суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки.

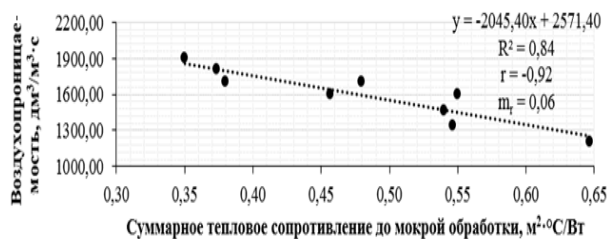


Рис. 5

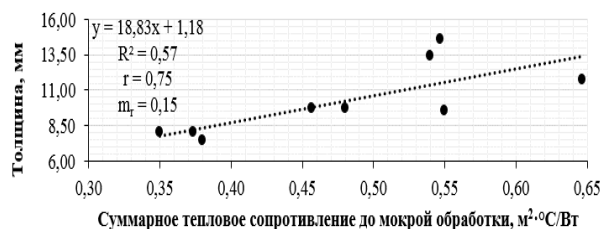


Рис. 6

Существует высокая корреляционная связь между суммарным тепловым сопротивлением до мокрой обработки и показателями качества: воздухопроницаемость (рис. 5 – корреляция между показателями качества воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^3 \cdot \text{с}$ и суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) и толщина (рис. 6 – корреляция между показателями качества толщина, мм, и суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), более воздухопроницаемые материалы имеют меньшее значение суммарного теплового сопротивления. Более плотная структура материала позволяет более длительно сохранять тепло в пододежном пространстве, однако малый объем инертного воздуха в теплоизоляционных нетканых материалах приводит к тому, что теплопроводность, а следовательно, и суммарное тепловое сопротивление будут определяться теплопроводностью полимера, из

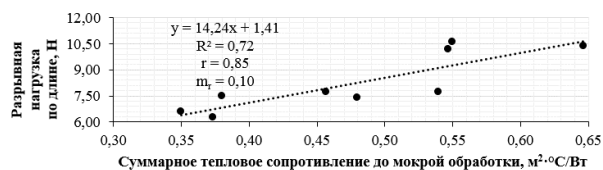


Рис. 7

Выявлена высокая корреляционная связь между гигроскопичностью и показателями качества: волокнистый состав (рис. 8 – корреляция между показателями качества: волокнистый состав и гигроскопичность, %) и изменение линейных размеров по ширине после мокрой обработки (рис. 9 – корреляция между показателями качества:



Рис. 9

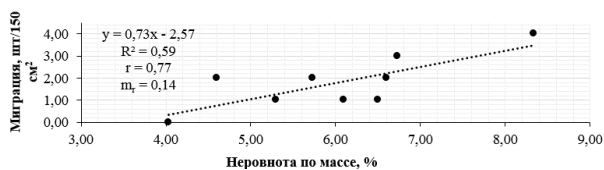


Рис. 11

которого они изготовлены, это обуславливает наличие прямой высокой корреляционной связи между показателями качества: суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки и толщина (рис. 6), более объемные материалы имеют более высокие значения суммарного теплового сопротивления.

Существует прямая высокая корреляционная связь между суммарным тепловым сопротивлением до мокрой обработки и разрывной нагрузкой по длине (рис. 7 – корреляция между показателями качества: суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, и разрывная нагрузка по длине, Н). Данная зависимость определяется тем, что наличие большого количества связей между волокнами, полученными в ходе термоскрепления, обуславливает стабильность материала и высокие значения показателей качества.

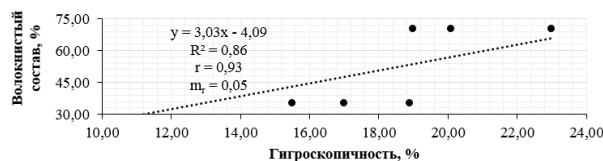


Рис. 8

ва: изменение линейных размеров по ширине после мокрой обработки и гигроскопичность, %), это обусловлено тем, что природа волокон значительным образом влияет на физические свойства и показатели назначения теплоизоляционных нетканых материалов.

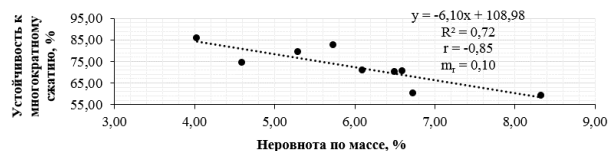


Рис. 10

Отмечена высокая корреляционная связь между неровнотой по массе и показателями качества: устойчивость к многократному сжатию (рис. 10 – корреляция между показателями качества: устойчи-

вость к многократному сжатию и неровнота по массе, %) и миграция (рис. 11 – корреляция между показателями качества: миграция, шт/150 см², и неровнота по массе, %). Чем равномернее структура теплоизоляционных нетканых материалов, а также чем ближе она к изотропной структуре, тем материал является более устойчивым к многоцикловым механическим нагрузкам.

Для количественной оценки корреляционной зависимости трех показателей качества применялся множественный коэффициент корреляции (формулы (3)...(5) [8]:

$$r_{X,YZ} = \sqrt{\frac{r_{XY}^2 + r_{XZ}^2 - 2r_{XY}r_{XZ}r_{YZ}}{1 - r_{YZ}^2}}, \quad (3)$$

$$r_{Y,XZ} = \sqrt{\frac{r_{XY}^2 + r_{YZ}^2 - 2r_{XY}r_{XZ}r_{YZ}}{1 - r_{XZ}^2}}, \quad (4)$$

$$r_{Z,XY} = \sqrt{\frac{r_{XZ}^2 + r_{YZ}^2 - 2r_{XY}r_{XZ}r_{YZ}}{1 - r_{XY}^2}}, \quad (5)$$

где $r_{X,YZ}$ – множественный коэффициент корреляции случайной величины X с величинами Y и Z; $r_{Y,XZ}$ – множественный коэффициент корреляции случайной величины Y с величинами X и Z; $r_{Z,XY}$ – множественный коэффициент корреляции случайной величины Z с величинами X и Y; r_{XY} , r_{XZ} , r_{YZ} – простые коэффициенты корреляции для двух случайных величин.

В ходе расчета получены следующие множественные коэффициенты корреляции для показателей качества:

– суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки (X); разрывная нагрузка по длине (Y); разрывная нагрузка по ширине (Z): $r_{X,YZ} = 0,85$; $r_{Y,XZ} = 0,97$; $r_{Z,XY} = 0,96$;

– гигроскопичность (X); волокнистый состав (Y); изменение линейных размеров по ширине после мокрой обработки (Z): $r_{X,YZ} = 0,98$; $r_{Y,XZ} = 0,96$; $r_{Z,XY} = 0,90$;

– неровнота по массе (X); устойчивость к многократному сжатию (Y); миграция (Z): $r_{X,YZ} = 0,87$; $r_{Y,XZ} = 0,87$; $r_{Z,XY} = 0,80$.

Расчеты множественного коэффициента корреляции показывают, что между рассматриваемыми показателями качества имеются высокая и весьма высокая корреляционные связи, что позволяет снизить количество контролируемых показателей.

1. Установлено, что при осуществлении контроля качества во время промышленного выпуска теплоизоляционных нетканых материалов целесообразно осуществлять непрерывный статистический контроль таких показателей качества, как суммарное тепловое сопротивление до мокрой обработки, гигроскопичность, неровнота по массе, разрывное удлинение по длине. Помимо этого необходим непрерывный статистический контроль поверхностной плотности, так как от этого зависит количество расходуемого сырья и стабильность всех показателей качества.

2. Установлено, что такие показатели качества, как воздухопроницаемость, толщина, разрывная нагрузка по длине и ширине, волокнистый состав, изменение линейных размеров по длине и ширине после мокрой обработки, устойчивость к многократному сжатию, миграция, целесообразно проверять во время летучего технического контроля, который инициируется при нештатных ситуациях на производстве, при изменениях в технологических режимах и используемом сырье.

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. Перова М.С., Галимова Л.Р., Хакимуллин Ю.Н. Зависимость свойств неотверждаемых герметиков на основе бутилкаучука, наполненных мелом, от природы термопласта // Вестник Казанского технологического университета. – 2010, № 6. С.230...235.

3. Мезенцева Е.В., Мишаков В.Ю. Выбор определяющих показателей качества теплоизоляционных нетканых материалов эвристическим методом // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2019, № 1. С. 39...45.

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

5. 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.

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

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

8. Соловьев А.Н., Кирюхин С.М. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов. – М.: Легкая индустрия, 1974.

REFERENCES

1. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Issledovaniya strukturnykh kharakteristik netkanogo ob"emnogo termoskrepennogo materiala, sformirovannogo putem dispergirovaniya volokon v potoke vozdukha, sodержashchego poliakrilatnye volokna // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2019, № 3. S.29...33.

2. Perova M.S., Galimova L.R., Khakimullin Yu.N. Zavisimost' svoystv neotverzhdaemykh germetikov na osnove butilkauchuka, napolnennykh melom, ot prirody termoplasta // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2010, № 6. S.230...235.

3. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Vybor opredelyayushchikh pokazateley kachestva teploizolyatsionnykh netkanykh materialov evristicheskim metodom // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2019, № 1. S. 39...45.

4. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Sistemnyy analiz ekspertnykh grupp tekstil'noy otrasli pri vybore opredelyayushchikh pokazateley kachestva na primere teploizolyatsionnykh netkanykh materialov // Khimicheskie volokna, № 5. Mytishchi: Otdel informatiki VNIISV. – 2019. С. 43...49.

5. Mezentseva E.V., Mishakov V.Yu. Vybor opredelyayushchikh pokazateley kachestva teploizolyatsionnykh netkanykh materialov s ispol'zovaniem prichinno-sledstvennykh skhem Isikavy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 4. S.108...115.

6. Kiryukhin S.M., Gridneva T.M., Demokratova E.B. Metody i sredstva tekhnicheskogo kontrolya i upravleniya kachestvom tekstil'nykh materialov. – М.: МГУДТ, 2013.

7. Galyamov Yu.Yu. Kontseptual'nye osnovy upravleniya i razvitiya regional'nogo promyshlennogo kompleksa / Pod obshch. red. S. A. Lochana. – М.: Paleotip, 2011.

8. Solov'ev A.N., Kiryukhin S.M. Otsenka kachestva i standartizatsiya tekstil'nykh materialov. – М.: Legkaya industriya, 1974.

Рекомендована кафедрой коммерции и сервиса РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 12.07.21.