

Научная статья

УДК 004.9:675

EDN ZIVVKU

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-21-26>

Людмила Николаевна Бодрякова¹

Андрей Владимирович Фаддеенков²

Елена Александровна Кирсанова³

^{1,2} Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского, г. Норильск, Россия

³ Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

¹ LNBodryakova@norvuz.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8108-4493>

² ABFaddeenkov@norvuz.ru, <https://orcid.org/0009-0002-7087-7847>

³ kirsanova-ea@rgyk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0825-3101>

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ СТРУКТУРНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЖЕВОЙ ТКАНИ

Аннотация. Статья посвящена установлению корреляционной связи между структурными и механическими свойствами кожной ткани на примере шкур морского котика с целью оптимизации информационных потоков на этапе проектирования технологического процесса. Проведены исследования изменений механических характеристик шкур морского котика, произошедшие в результате уменьшения толщины кожной ткани в ходе выполнения операции строгания. По числовым показателям сопоставление проводилось с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни. Сравнения трех и более групп по числовым показателям осуществлялись с помощью непараметрического критерия Краскела – Уоллиса. Исследования корреляционной связи между толщиной кожной ткани и ее механическими характеристиками проведены двумя основными методами: метод ранговой корреляции Спирмена и метод корреляции Пирсона.

Ключевые слова: пушно-меховой полуфабрикат, топографические участки, статистический анализ, корреляционная связь, непараметрический критерий Краскела – Уоллиса, метод ранговой корреляции Спирмена, метод корреляции Пирсона

Для цитирования. Бодрякова Л. Н., Фаддеенков А. В., Кирсанова Е. А. Исследование взаимосвязи структурных и механических свойств кожной ткани // Технологии и качество. 2025. № 1(67). С. 21–26. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-21-26>.

Original article

Lyudmila N. Bodryakova¹

Andrey V. Faddeenkov²

Elena A. Kirsanova³

^{1,2} Fedorovsky Polar State University, Norilsk, Krasnoyarsk Land, Russia

³ Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LEATHER FABRIC

Abstract. The article is devoted to establishing a correlation between the structural and mechanical properties of skin tissue using the example of fur seal skins in order to optimise information flows at the design stage of the technological process. Studies of changes in the mechanical characteristics of fur seals were conducted, which occurred as a result of a decrease in the thickness of the skin tissue during the gouging operation. In terms of numerical indicators, the comparison was carried out using the nonparametric Mann–Whitney test. Comparisons of three or more groups by numerical indicators were carried out using the nonparametric Kruskal–Wallis test. The correlation between the thickness of the skin tissue and its mechanical characteristics has been studied using two main methods: Spearman's rank correlation method and Pearson correlation method.

© Бодрякова Л. Н., Фаддеенков А. В., Кирсанова Е. А., 2025

Keywords: *semi-finished fur products, topographic plots, statistical analysis, correlation, nonparametric Kruskal–Wallis test, Spearman's rank correlation method, Pearson correlation method*

For citation: Bodryakova L. N., Faddeenkov A. V., Kirsanova E. A. Investigation of relationship of structural and mechanical properties of leather fabric. *Technologies & Quality*. 2025. No 1(67). P. 21–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-21-26>.

Анализ технологических процессов изготовления изделий из пушно-мехового полуфабриката (ПМП) позволил установить, что наиболее перспективным направлением их совершенствования является цифровизация подготовительно-раскройных операций. Реализация решений в данном направлении позволит снизить трудоемкость операций и повысить качество изделий [1]. Однако цифровизация основывается на учете и обработке объективной информации о свойствах пушно-мехового полуфабриката, поскольку эти факторы оказывают влияние на технологические процессы скорняжного производства, определяя состав операций и режимы их выполнения [2–4]. Особенность пушно-мехового полуфабриката – высокая вариативность свойств, характерная для шкурок одного вида, однако в большей степени проявляющаяся в изменениях свойств по площади шкурки (топографическая изменчивость). Кроме того, различные свойства и их группы оказывают влияние друг на друга и коррелируют между собой [5–7]. Оптимизация информационных потоков исходной информации, определение необходимого и достаточного количества данных о свойствах единицы ПМП является одной из задач, решение которой необходимо для внедрения цифровых технологий. Изучение взаимосвязи и корреляции отдельных свойств и их групп обеспечит исключение избыточной информации.

Исследования проводили на двух партиях шкур морского котика объемом 20 шт. от одно-

го производителя на различных стадиях технологического процесса хромового дубления, некрашенных, на топографических участках шеи, загривка и хребта.

Для установления зависимости влияния структурных свойств кожаной ткани на механические (прочностные) свойства проведены исследования изменений прочностных характеристик кожаной ткани шкур морского котика в результате уменьшения ее толщины при выполнении операции строгания. В ходе исследований выполняли стандартные измерения толщины кожаной ткани и ее прочностных свойств. Статистическая обработка данных производилась с использованием пакета прикладных программ Statistica 10 [8].

В результате выполнения операции строгания происходит уменьшение толщины кожаной ткани: величина изменений в зависимости от топографического участка варьируется от 21,8 до 61,7 % (рис.), что приводит к повышению подвижности структуры и увеличению потяжки кожаной ткани.

В работе исследовано влияние толщины кожаной ткани на ее механические характеристики. Комплекс входящей информации включает данные о стадии технологического процесса, исследуемом топографическом участке, направлении растяжения и толщине кожаной ткани. Выходными параметрами являются количественные показатели прочностных свойств: нагрузка, напряжение, разрывное удлинение.

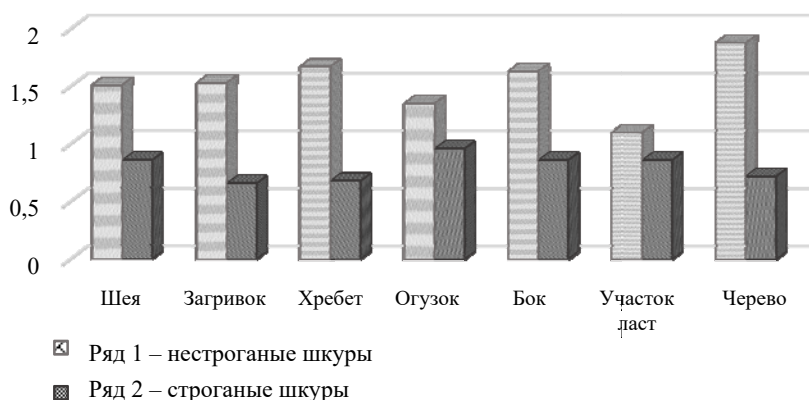


Рис. Толщина кожаной ткани шкур морского котика на различных топографических участках, мм

Проведен статистический анализ изменений свойств кожаной ткани, происходящих в результате уменьшения ее толщины, исследована взаимосвязь трех качественных и количественных факторов.

Сопоставления двух групп по числовым показателям осуществлялись с помощью непараметрического критерия Манна – Уитни. Сравнения трех и более групп по числовым показателям осуществлялись с помощью непараметрического критерия Краскела – Уоллиса. Анализ взаимосвязей проводился на основе непараметрической ранговой корреляции по Спирмену. Уровень статистической погрешности был зафиксирован на уровне 0,05.

Статистический анализ показателей выполнен по следующим группам:

- «Топографический участок», имеющей значения: «Шея», «Загривок» и «Хребет» с числами наблюдений 41 (33,9 %), 40 (33,1 %)

и 40 (33,1 %) соответственно, для сравнения используется непараметрический критерий Краскела – Уоллиса;

- «Стадия технологического процесса», которая состоит из двух групп со значениями: «Нестроганный» и «Строганный» с числами наблюдений 61 (50,4 %) и 60 (49,6 %) соответственно, для сравнения используется непараметрический критерий Манна – Уитни;
- «Направление ремешка», состоящей из двух групп со значениями: «Продольное» и «Поперечное» с числами наблюдений 59 (48,8 %) и 62 (51,2 %) соответственно, для сравнения также используется непараметрический критерий Манна – Уитни.

В таблицах 1, 2 представлены результаты статистического анализа сравнения трех групп переменной «Топографический участок» по количественным показателям.

Т а б л и ц а 1

Сравнение трех групп переменной «Топографический участок» по количественным показателям
(средние $\pm$ среднеквадратические отклонения)

Показатель	Топографический участок			Р-значение
	Шея	Загривок	Хребет	
Средняя толщина, мм	1,19 $\pm$ 0,36	1,10 $\pm$ 0,42	1,14 $\pm$ 0,46	0,1592
Нагрузка при разрыве, Н	109,37 $\pm$ 43,68	97,92 $\pm$ 47,99	93,97 $\pm$ 49,33	0,2217
Предел прочности, МПа	18,48 $\pm$ 4,15	17,42 $\pm$ 3,42	16,39 $\pm$ 5,90	0,1707
Разрывное удлинение, мм	14,80 $\pm$ 3,16	15,08 $\pm$ 2,20	15,08 $\pm$ 2,29	0,9257
Разрывное удлинение, %	59,22 $\pm$ 12,66	60,32 $\pm$ 8,81	60,30 $\pm$ 9,17	0,9185

Т а б л и ц а 2

Множественные попарные сравнения по переменной «Топографический участок»

Показатель	Р-значение		
	Шея – Загривок	Шея – Хребет	Загривок – Хребет
Средняя толщина, мм	0,1597	0,6639	0,6040
Нагрузка при разрыве, Н	0,4170	0,2646	0,9543
Предел прочности, МПа	0,5732	0,1726	0,7177
Разрывное удлинение, мм	0,9539	0,9372	0,9986
Разрывное удлинение, %	0,9442	0,9351	0,9996

Результаты статистического анализа сравнения по группам переменной «Стадия технологического процесса» представлены в таблице 3.

Результаты статистического анализа сравнения двух групп «Направление ремешка» по количественным показателям представлены в таблице 4.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что 2 из 5 показателей статистически значимо различаются между двумя сравниваемыми группами, а именно:

- «Нагрузка при разрыве» в группе «Нестроганный» по отношению к группе «Строганный» в среднем на 75,9 Н;
- «Средняя толщина» в группе «Нестроганный» по отношению к группе «Строганный» в среднем на 0,8 мм.

На основании полученных результатов сравнения качественных групп можно сделать вывод о том, что 4 из 5 показателей статистически значимо различаются между двумя сравниваемыми группами. Наиболее значимые различия обнаружены для показателя «Разрывное удлинение» в группе «Поперечное» по отношению к группе «Продольное».

Также статистически значимые различия наблюдаются у показателя «Нагрузка при разрыве» в группе «Продольное» по отношению к группе «Поперечное»; показателя «Предел прочности» в группе «Продольное» по отношению к группе «Поперечное» (в среднем на 7,5 МПа; $P < 0,0001$) и показателя «Разрывное удлинение» в группе «Продольное» по отношению к группе «Поперечное».

Выполнены исследования корреляционной связи между толщиной кожаной ткани и ее механическими характеристиками. Поскольку установлено, что статистически значимым является только направление ремешка, исследования проведены в продольном и поперечном направлении на различных топографических участках.

Качественное определение силы взаимосвязи между факторами определяли по шкале Чеддока. Для анализа были использованы два основных метода: метод ранговой корреляции Спирмена и метод корреляции Пирсона. Результаты метода ранговой корреляции Спирмена приведены в таблице 5.

Т а б л и ц а 3

Сравнение двух групп переменной «Стадия технологического процесса» по количественным показателям
(средние $\pm$ среднеквадратические отклонения)

Показатель	Стадия технологического процесса		Уровень P
	Нестроганный ($N = 61$)	Строганный ($N = 60$)	
Средняя толщина, мм	$1,54 \pm 0,10$	$0,74 \pm 0,10$	$< 0,0001$
Нагрузка при разрыве, Н	$138,13 \pm 33,45$	$62,23 \pm 20,52$	$< 0,0001$
Напряжение, МПа	$18,20 \pm 4,62$	$16,67 \pm 4,58$	$0,0824$
Разрывное удлинение, мм	$14,75 \pm 2,59$	$15,22 \pm 2,57$	$0,3005$
Разрывное удлинение, %	$59,02 \pm 10,34$	$60,88 \pm 10,27$	$0,2874$

Т а б л и ц а 4

Сравнение двух групп переменной «Направление ремешка» по количественным показателям
(средние $\pm$ среднеквадратические отклонения)

Показатель	Направление ремешка		P -значение
	Продольное	Поперечное	
Средняя толщина, мм	$1,13 \pm 0,39$	$1,15 \pm 0,43$	$0,9235$
Нагрузка при разрыве, Н	$121,82 \pm 47,74$	$80,20 \pm 36,59$	$< 0,0001$
Предел прочности, МПа	$21,26 \pm 2,25$	$13,80 \pm 3,17$	$< 0,0001$
Разрывное удлинение, мм	$13,25 \pm 2,03$	$16,63 \pm 1,87$	$< 0,0001$
Разрывное удлинение, %	$53,02 \pm 8,12$	$66,53 \pm 7,46$	$< 0,0001$

Т а б л и ц а 5

Показатели взаимосвязи переменных (метод ранговой корреляции Спирмена)

Направление	Показатель	Средняя толщина, мм	Нагрузка, Н	Напряжение, МПа	Разрывное удлинение, %
Продольное	Средняя толщина, мм	1	0,901**	0,317*	-0,249
	Нагрузка при разрыве, Н	0,901**	1	0,634**	-0,231
	Напряжение, МПа	0,317*	0,634**	1	-0,052
	Разрывное удлинение, %	-0,249	-0,231	-0,052	1
Поперечное	Средняя толщина, мм	1	0,833**	0,329**	-0,072
	Нагрузка при разрыве, Н	0,833**	1	0,743**	0,098
	Напряжение, МПа	0,329**	0,743**	1	0,199
	Разрывное удлинение, %	-0,072	0,098	0,199	1

Примечание: * – коэффициенты корреляции, статистически значимые при 95 %;

** – коэффициенты корреляции, статистически значимые при 99 %.

Между рассматриваемыми факторами присутствует как положительное, так и отрицательное влияние. Положительная взаимосвязь наблюдалась у четырех факторов. Разброс колебаний положительной корреляции лежит от умеренной положительной 0,317 до достаточно тесной положительной 0,901. Наиболее тесной положительной связью с целевым показателем «Средняя толщина, мм» обладают факторы: «Нагрузка при разрыве» (направление – поперечное) и «Нагрузка при разрыве» (направление – продольное), с диапазоном связей от 0,83 до 0,90 соответственно.

Отрицательное влияние наблюдалось у двух факторов: «Разрывное удлинение» (направление – поперечное) и «Разрывное удлинение» (направление – продольное), со значением коэффициента корреляции $-0,072$ и $-0,249$ соответственно.

На переменную «Нагрузка при разрыве» рассматриваемые показатели имеют как положительную, так и отрицательную взаимосвязь. Положительная наблюдалась у всех факторов. Разброс колебаний положительной корреляции лежит от слабой 0,098 до достаточно тесной 0,901.

Наиболее тесной отрицательной связью с целевым показателем «Нагрузка при разрыве» обладает один фактор: «Разрывное удлинение» (направление – продольное), со значением корреляции $-0,231$.

Наиболее тесной отрицательной связью с целевым показателем «Нагрузка при разрыве» обладает один фактор: «Разрывное удлинение» (направление – продольное), со значением корреляции $-0,231$.

На переменную «Предел прочности» рассматриваемые факторы имеют как положительную, так и отрицательную силу влияния.

Положительная сила влияния наблюдалась у пяти факторов. Разброс колебаний положительной корреляции лежит от слабой положительной 0,199 до достаточно тесной положительной 0,743. Наиболее тесной положительной связью с целевым показателем «Предел прочности» обладают факторы: «Средняя толщина» (направление – поперечное), «Нагрузка» (направление – продольное) и «Предел прочности» (направление – поперечное), с диапазоном связей от 0,33 до 0,74 соответственно.

Отрицательная сила влияния наблюдалась у одного из факторов: «Разрывное удлинение» (направление – продольное), для которого характерна наиболее тесная отрицательная связь с целевым показателем «Предел прочности» со значением корреляции –0,052.

На показатель «Разрывное удлинение» рассматриваемые показатели имеют как положительную, так и отрицательную силу влияния.

Положительная сила влияния наблюдалась у двух факторов. Разброс колебаний положительной корреляции лежит в пределах слабой положительной: минимальное значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена 0,098, максимальное 0,199. Наиболее тесной положительной связью с целевым показателем «Разрывное удлинение» обладают два фактора: «Нагрузка при разрыве» (направление – поперечное) и «Предел прочности» (направление – поперечное), со значением коэффициента корреляции 0,098 и 0,199 соответственно.

Результаты корреляционного анализа с помощью метода корреляции Пирсона представлены в таблице 6.

Между рассматриваемыми факторами присутствует как положительная, так и отрицательная сила влияния. Однако прослеживается более сильная взаимосвязь между показателями «Средняя толщина» и «Нагрузка при разрыве», причем, как и в результатах, полученных пре-

дыдущим методом, более тесная связь наблюдается между показателем «Нагрузка при разрыве» (направление – продольное) в сравнении с показателем «Нагрузка при разрыве» (направление – поперечное): 0,968 и 0,908 – коэффициенты корреляции Пирсона; 0,901 и 0,833 – коэффициенты корреляции Спирмена. Точность метода Пирсона несколько выше по сравнению с методом Спирмена. Поэтому можно утверждать, что в соответствии со шкалой Чеддока связь между показателями «Средняя толщина» и «Нагрузка при разрыве» является весьма высокой. Разницу в коэффициентах корреляции по направлениям можно объяснить особенностями ориентации пучков волокон. Наиболее высокая степень ориентации для них характерна относительно хребтовой линии, соответственно в продольном направлении наблюдается более строгая зависимость относительно механических характеристик в поперечном направлении, для которого характерна большая вариативность укладки волокон и соответственно меньший коэффициент корреляции между показателями «Средняя толщина» и «Нагрузка при разрыве».

Отрицательная сила влияния наблюдалась у двух факторов: «Разрывное удлинение» (направление – поперечное) и «Разрывное удлинение» (направление – продольное) на целевой показатель «Средняя толщина», соответственно, чем меньше толщина кожаной ткани, тем больше разрывное удлинение ремешка, что объясняется удалением сетчатого слоя, для которого характерна наиболее развитая сеть эластиновых и гладких мышечных волокон, что снижает подвижность структуры кожаной ткани. Низкий коэффициент корреляции, вероятно, связан с высокой вариативностью изменений толщины кожаной ткани, удалением ее сетчатого слоя в достаточно высоких интервалах. Кроме того, данная зависимость подтверждает необходимость исследования влияния плотности кожаной ткани и количества содержащихся в ней несвязанных жировых веществ на подвижность ее структуры и деформационные характеристики.

Т а б л и ц а 6

Показатели взаимосвязи переменных (метод корреляции Пирсона)

Направление	Показатель	Средняя толщина, мм	Нагрузка, Н	Напряжение, МПа	Разрывное удлинение, %
Продольное	Средняя толщина, мм	1	0,968**	0,326*	–0,289*
	Нагрузка при разрыве, Н	0,968**	1	0,541**	–0,288*
	Предел прочности, МПа	0,326*	0,541**	1	–0,034
	Разрывное удлинение, %	–0,289*	–0,288*	–0,034	1
Поперечное	Средняя толщина, мм	1	0,908**	0,372**	0,009
	Нагрузка при разрыве, Н	0,908**	1	0,702**	0,105
	Предел прочности, МПа	0,372**	0,702**	1	0,205
	Разрывное удлинение, %	0,009	0,105	0,205	1

Примечание: * – коэффициенты корреляции, статистически значимые при 95 %;

** – коэффициенты корреляции, статистически значимые при 99 %.

ВЫВОДЫ

Результаты корреляционного анализа получены двумя основными методами. Максимальный коэффициент корреляции наблюдается между показателями «Средняя толщина» и «Нагрузка при разрыве», коэффициенты корреляции Пирсона составляют 0,968 и 0,908 в продольном и поперечном направлении соответственно, что объясняется особенностями расположения волокон в структуре кожаной ткани.

Для факторов «Средняя толщина» и «Разрывное удлинение» наблюдалась отрицательная сила влияния, кроме того, между данными факторами минимальная связь. Это определяет необходимость исследования влияния таких факторов, как плотность кожаной ткани и количество содержащихся в ней несвязанных жировых веществ на ее деформационные свойства и, в частности, на потяжку кожаной ткани, происходящую в результате выполнения операции «правка».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Цифровизация технологических процессов швейного предприятия / Е. А. Кирсанова, Л. Н. Бодрякова, И. С. Беляев, Н. В. Шатура // Дизайн и технологии. 2022. № 89(131). С. 27–35.
2. Запорожец О. В., Сапожникова А. И., Квашук А. Н. Определение цветового типа шкур соболя с применением компьютерной техники // Кролиководство и звероводство. 2013. № 3. С. 21–22.
3. Рассадина С. П., Койтова Ж. Ю., Кавзинадзе И. А. Оценка естественной окраски волосного покрова натурального меха методом «цветовых масок» // Кожевенно-обувная промышленность. 2003. № 4. С. 37–39.
4. Сухинина Т. В., Горбачева М. В., Гордиенко И. М. Влияние технологических параметров выделки на свойства кожаного полуфабриката из шкур страуса // Технологии и качество. 2023. № 1(59). С. 20–27.
5. Сапожникова А. И., Гребнева Ю. С., Реусова Т. В. Цифровая идентификация цветовых типов шкур норки с учетом показателей их оптических свойств // Костюмология. 2021. Т. 6, № 2. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL221.pdf> (дата обращения: 6.01.2025).
6. Сапожникова А. И., Гребнева Ю. С., Реусова Т. В. Разработка статистической модели системы инструментальной сортировки шкур норки по параметрам цветоразличия // Технологии и качество. 2021. № 2(52). С. 11–18.
7. Гребнева Ю. С., Сапожникова А. И., Гордеева Ю. Л. Использование многомерного статистического анализа данных для создания информационной системы инструментальной сортировки шкур норки различных цветовых групп и типов // Костюмология. 2020. Т. 5, № 4. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/15TLKL420.pdf> (дата обращения: 6.01.2025).
8. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. М. : Бином-Пресс, 2007. 512 с.

REFERENCES

1. Kirsanova E. A., Bodryakova L. N., Belyaev I. S., Shatura N. V. Digitalization of technological processes of the sewing enterprise. *Dizajn i tekhnologii* [Design and technology]. 2022;89(131):27–35. (In Russ.)
2. Zaporogec O. V., Sapognikova A. I., Kvashuk A. N. Determination of color type of skins of a sable with application of computer technics. *Krolikovodstvo i zverovodstvo* [Rabbit breeding and fur farming]. 2013;3:21–22. (In Russ.)
3. Rassadina S. P., Kojtova Zh. Yu., Kavzinadze I. A. Evaluation of the natural coloring of the hair of natural fur using the “color masks” method. *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost'* [Leather and shoe industry]. 2003;4:37–39. (In Russ.)
4. Suhinina T. V., Gorbacheva M. V., Gordienko I. M. Influence of the technological parameters of leather dressing on the properties of semi-finished ostrich skins. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2023;1(59):20–27. (In Russ.)
5. Sapozhnikova A. I., Grebeneva Yu. S., Reusova T. V. Digital identification of color types of mink skins, taking into account the indicators of their optical properties. *Kostyumologiya* [Journal of Clothing Science]. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL221.pdf> (accessed 6.01.2025). (In Russ.)
6. Sapozhnikova A. I., Grebeneva Yu. S., Reusova T. V. Development of a statistical model for the system of instrumental sorting of mink skins by color-difference parameters. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2021;2(52):11–18. (In Russ.)
7. Grebeneva Yu. S., Sapozhnikova A. I., Gordeeva Yu. L. (2020). The use of multivariate statistical data analysis to create an information system for instrumental sorting of mink skins of various color groups and types. *Kostyumologiya* [Journal of Clothing Science]. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/15TLKL420.pdf> (accessed 6.01.2025). (In Russ.)
8. Khalafyan A. A. STATISTICA 6. Statistical data analysis. Moscow, Binom-Press Publ., 2007. 512 p.

Статья поступила в редакцию 19.01.2025

Принята к публикации 17.02.2025