

УДК 004.9:687.1

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Добровольская Т.А., Процаковская Д.В.

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск,  
e-mail: dobtatiana74@mail.ru

Для обеспечения конкурентоспособности и требуемого уровня качества одежды специального назначения возникает необходимость решения многокритериальных задач при выборе материалов, соответствующих конкретным требованиям в зависимости от назначения изделий и условий их эксплуатации. В статье рассмотрен принцип построения обобщенного показателя качества материалов, применяемых для производства спецодежды, с использованием функции Харрингтона. Разработан алгоритм проведения комплексной оценки качества тканей для производства одежды специального назначения. Осуществлена программная реализация предложенного алгоритма в математическом редакторе Matchcad, в ходе которой происходит определение математических моделей, позволяющих перевести натуральные показатели качества изделий в безразмерные, аналитическое вычисление единичных и обобщенного показателей качества и графическая интерпретация полученных результатов. Приведены результаты определения единичных и обобщенных показателей качества текстильных материалов с применением функции желательности Харрингтона на основе компьютерных технологий. Предложены рекомендации обоснованного выбора ткани для одежды специального назначения на основе расчета комплексного показателя качества. Использование компьютерных технологий для автоматизации комплексной оценки качества изделий легкой промышленности позволит значительно ускорить процесс проектирования продукции с учетом заданных требований на этапе обоснованного выбора материалов.

**Ключевые слова:** функция желательности Харрингтона, комплексный показатель качества, материалы для спецодежды, автоматизированный расчет, алгоритм, компьютерное моделирование

## MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF THE QUALITY OF MATERIALS FOR SPECIAL PURPOSE CLOTHING BASED ON COMPUTER TECHNOLOGY

Dobrovolskaya T.A., Prochakovskaya D.V.

Southwest State University, Kursk, e-mail: dobtatiana74@mail.ru

In order to ensure competitiveness and the required level of quality of special-purpose clothing, it becomes necessary to solve multi-criteria tasks when choosing materials that meet specific requirements, depending on the purpose of the products and their operating conditions. The article considers the principle of constructing a generalized indicator of the quality of materials used for the production of workwear using the Harrington function. An algorithm for conducting a comprehensive assessment of the quality of fabrics for the production of special-purpose clothing has been developed. The software implementation of the proposed algorithm in the mathematical editor Matchcad is carried out, during which mathematical models are determined that allow translating natural product quality indicators into dimensionless ones, analytical calculation of single and generalized quality indicators and graphical interpretation of the results obtained. The results of determining single and generalized indicators of the quality of textile materials using the Harrington desirability function based on computer technology are presented. Recommendations of a reasonable choice of fabric for special-purpose clothing based on the calculation of a comprehensive quality indicator are proposed. The use of computer technologies to automate a comprehensive assessment of the quality of light industry products will significantly speed up the process of product design, taking into account the specified requirements at the stage of reasonable choice of materials.

**Keywords:** Harrington desirability function, complex quality indicator, materials for workwear, automated calculation, algorithm, computer modeling

Конкурентоспособность предприятий легкой промышленности напрямую зависит от качества производимых ими изделий. В свою очередь, качество одежды определяется в том числе качеством материалов и их соответствием установленным требованиям. Задача эффективности выбора материалов для изготовления определенной продукции является многокритериальной, требующей определения комплексного показателя качества. Для решения многокритериальных задач используются различные методы построения обобщенного показателя [1–4], одним из которых является функция желательности Харрингтона. При этом для реализации математического

функционала методов определения комплексного показателя качества, при учете максимально возможного числа частных показателей, необходимо использовать автоматизированные способы обработки данных с применением соответствующих программных средств.

Разработка технологии автоматизированного расчета комплексного показателя качества материалов для изготовления изделий легкой промышленности с использованием обобщенной функции желательности Харрингтона позволит оптимизировать процесс обоснованного выбора материалов исходя из заданных требований и условий эксплуатации проектируемой одежды.

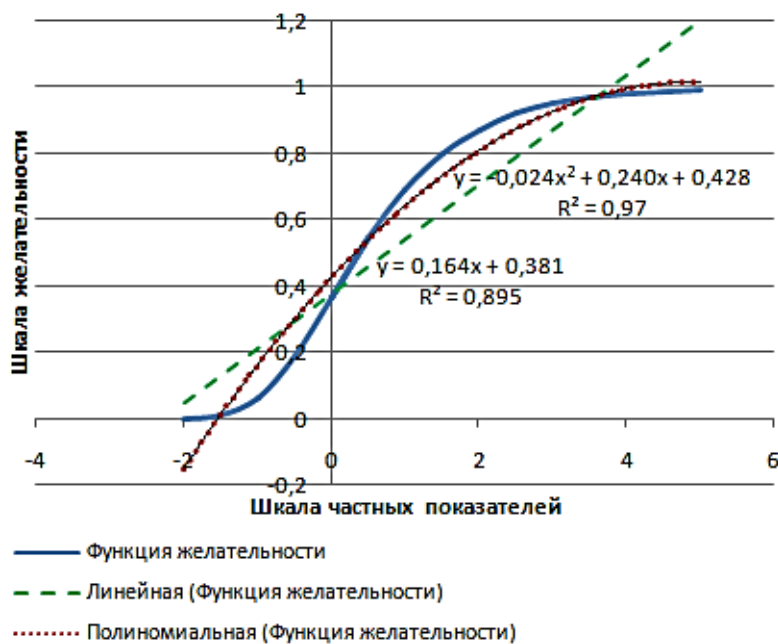


Рис. 1. График функции желательности Харрингтона

Цель работы – разработка инструментария на основе компьютерных технологий для комплексной оценки уровня качества материалов для одежды специального назначения.

#### Материалы и методы исследования

Комплексная оценка качества материалов, применяемых в производстве одежды специального назначения, в данной работе проводилась на основе построения обобщенной функции желательности Харрингтона. Стандартные оценки по шкале желательности приведены в табл. 1 [5]. Функция желательности может быть определена графическим или аналитическим методом. Разработка автоматизированных способов реализации аналитического метода на основе компьютерных технологий значительно снизит трудоемкость и повысит точность расчетов.

Функция желательности, соответствующая шкале желательности Харрингтона для одностороннего ограничения, имеет вид

$$d_i = \exp(-\exp(-y)) \text{ или } d_i = \frac{1}{e^{\frac{1}{e^y}}}, \quad (1)$$

где  $y$  – кодированное значение частного параметра  $u$ .

Обобщенный показатель желательности ( $D$ ) рассчитывается по формуле (2).

$$D = \sqrt[n]{\prod_i d_i}. \quad (2)$$

Перевести значения размерных (натуральных) показателей ( $x$ ) качества изделий в безразмерные ( $y$ ) можно по формулам [5, 6]:

$$\text{– при линейной зависимости } y = a_0 + a_1x, \quad (3)$$

$$\text{– при нелинейной связи } y = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (4)$$

График функции желательности Харрингтона с односторонним ограничением представлен на рис. 1. В программной оболочке Excel с помощью трендового анализа были построены графические зависимости и найдены корреляционные уравнения связи между частными показателями и шкалой желательности [6], представленные на рис. 1.

Анализ величин достоверности аппроксимаций показал, что при параболическом полиноме ( $R^2 = 0,97$ ) погрешность аппроксимации меньше, чем при линейном тренде ( $R^2 = 0,895$ ). Потому для разработки комплексного показателя качества в данном исследовании был взят параболический тренд функции желательности.

Прологарифмировав дважды уравнение (1) с учетом результатов проведенной выше аппроксимации и соответственно уравнения (4), составляем систему урав-

нений для определения частных функций желательности:

$$\begin{cases} a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_{\max}}} \\ a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 = \ln \frac{1}{\ln \frac{1}{d_{\min}}} \end{cases}, \quad (5)$$

где  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  – значения шкалы желательности «отлично» и «удовлетворительно»;

$x_1, x_2$  – значения исследуемых показателей, соответствующих оценкам шкалы желательности «отлично» и «удовлетворительно» соответственно.

Для комплексной оценки качества материалов в соответствии с выражениями (1–5) был разработан алгоритм, наглядно представленный на рис. 2 и позволяющий определять обобщенные показатели желательности для  $i$ -го числа тканей и  $n$ -го числа исследуемых свойств для каждой ткани.

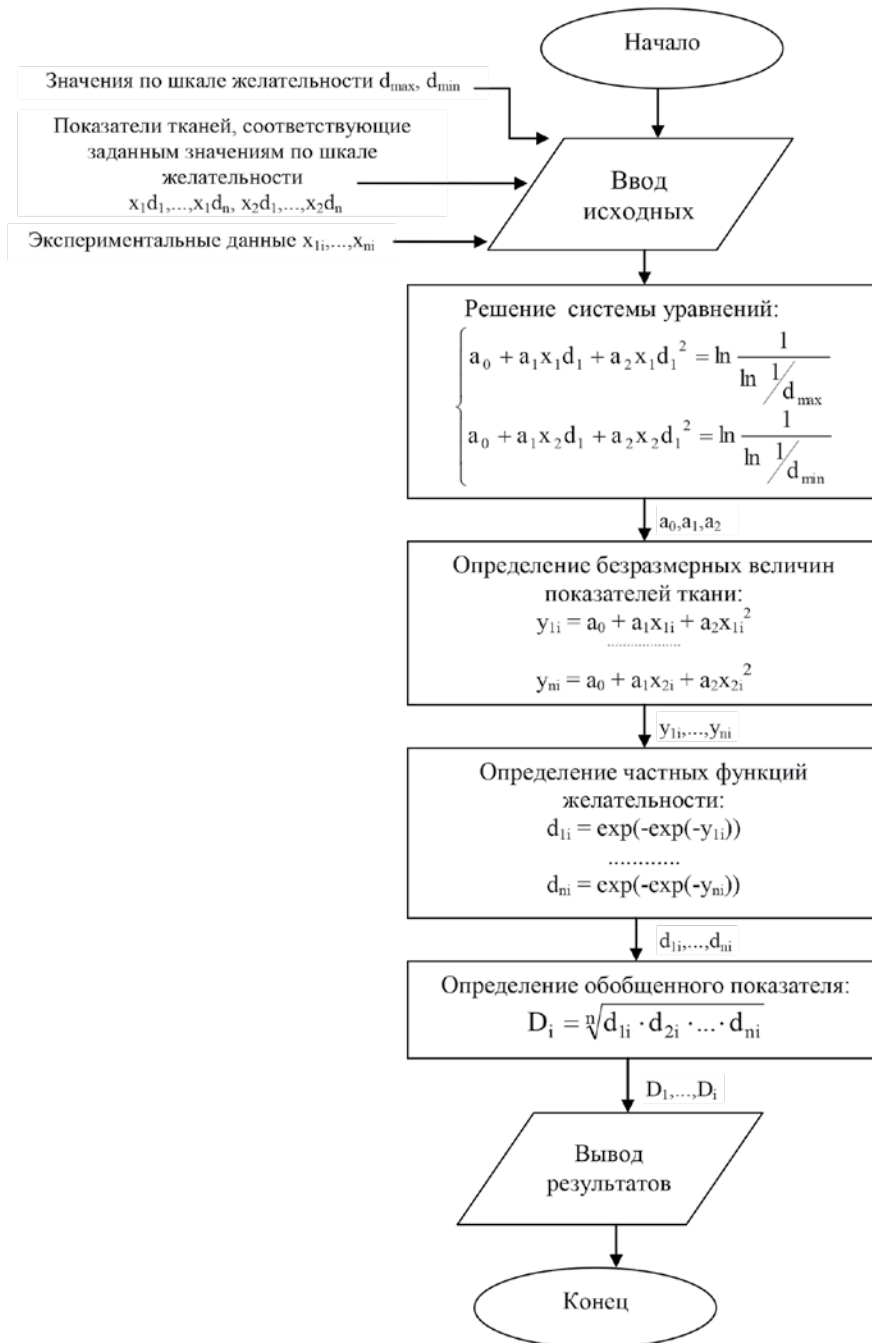


Рис. 2. Алгоритм комплексной оценки качества материалов

Таблица 1

## Шкала оценок исследуемых показателей

Градация качества	Оценки по шкале желательности	$x_{d_1}$	$x_{d_2}$	$x_{d_3}$	$x_{d_4}$	$x_{d_5}$	$x_{d_6}$	$x_{d_7}$	$x_{d_8}$
Отлично	1,00–0,80	1600	1000	60	60	1,5	1,2	25000	60
Хорошо	0,79–0,64	1000	700	40	40	2	1,5	15000	40
Удовлетворительно	0,63–0,37	500	400	30	30	2,4	1,7	5000	20
Плохо	0,36–0,20	300	200	20	20	2,7	2	2000	10
Очень плохо	0,19–0,00	200	150	10	10	3	2,3	1000	7

Таблица 2

## Экспериментальные показатели материалов для спецодежды

Номер ткани	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
1	1500	900	55	52	1,8	1,3	20 000	55
2	1150	900	35	25	2	1,8	30 000	45
3	1200	900	55	40	2	1,4	28 000	30
4	2500	700	64	50	2	1,5	32 000	25
5	1500	600	30	20	2	1,8	15 000	40
6	1300	850	50	45	1,9	1,2	15 000	80
7	1300	1000	64	55	2	1,4	35 000	40
8	1000	1200	55	60	1,7	1,2	35 000	30
9	1600	800	55	25	2	1,9	35 000	50
10	2500	900	64	60	2	1,4	30 000	80
11	1700	600	64	25	2	1,5	20 000	60
12	1000	700	50	45	2	1,4	15 000	60

Для определения комплексного показателя качества тканей, применяемых для производства одежды специального назначения, были выбраны:  $x_1$  – разрывная нагрузка по основе, (N);  $x_2$  – разрывная нагрузка по утку, (N);  $x_3$  – раздирающая нагрузка по основе (N);  $x_4$  – раздирающая нагрузка по утку (N);  $x_5$  – усадка по основе (%);  $x_6$  – усадка по утку (%);  $x_7$  – число циклов истирания,  $x_8$  – воздухопроницаемость ( $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ).

На основе анализа требований к материалам для спецодежды [7, 8] были установлены значения вышеуказанных показателей тканей ( $x_{d_1}, \dots, x_{d_n}$ ), соответствующие градации качества по шкале желательности, и представлены в табл. 1.

В качестве  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$  были приняты значения нижней границы зоны «отлично» и «удовлетворительно»:  $d_{\max} = 0,8$ ;  $d_{\min} = 0,37$

В рамках исследования для испытаний были взяты 12 образцов тканей для спецодежды. Экспериментальным путем определены значения показателей  $x_1$ – $x_8$  представленные в табл. 2.

Программная реализация предложенного алгоритма осуществлялась в математи-

ческом редакторе Matchcad. Фрагмент решения системы уравнений (5) представлен на рис. 3.

С использованием данной программы была проведена комплексная оценка качества на основе функции желательности Харрингтона для всех исследуемых образцов тканей для одежды специального назначения.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В результате решения системы уравнений (5) были получены математические модели взаимосвязи натуральных показателей и их безразмерных величин:

$$y_1 = -8,27 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,677 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$$

$$y_2 = -1,956 \cdot 10^{-3} \cdot x + 4,926 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$$

$$y_3 = -0,049 \cdot x + 1,644 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$$

$$y_4 = -0,035 \cdot x + 1,408 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$$

$$y_5 = 4,87 - 0,845 \cdot x^2$$

$$y_6 = 5,914 - 2,044 \cdot x^2$$

$$y_7 = -2,826 \cdot 10^{-5} \cdot x + 5,883 \cdot 10^{-9} \cdot x^2$$

$$y_8 = -0,024 \cdot x + 2,456 \cdot 10^{-3} \cdot x^2$$

В результате автоматизированного расчета в программе Matchcad были получены значения частных и комплексного показателя качества для исследуемых образцов материалов, представленные в табл. 3. Применение разработанной про-

граммы автоматизированного определения функции желательности Харрингтона предусматривает графическую интерпретацию результатов. На рисунке 4 представлен график полученных комплексных показателей для исследуемых образцов тканей.

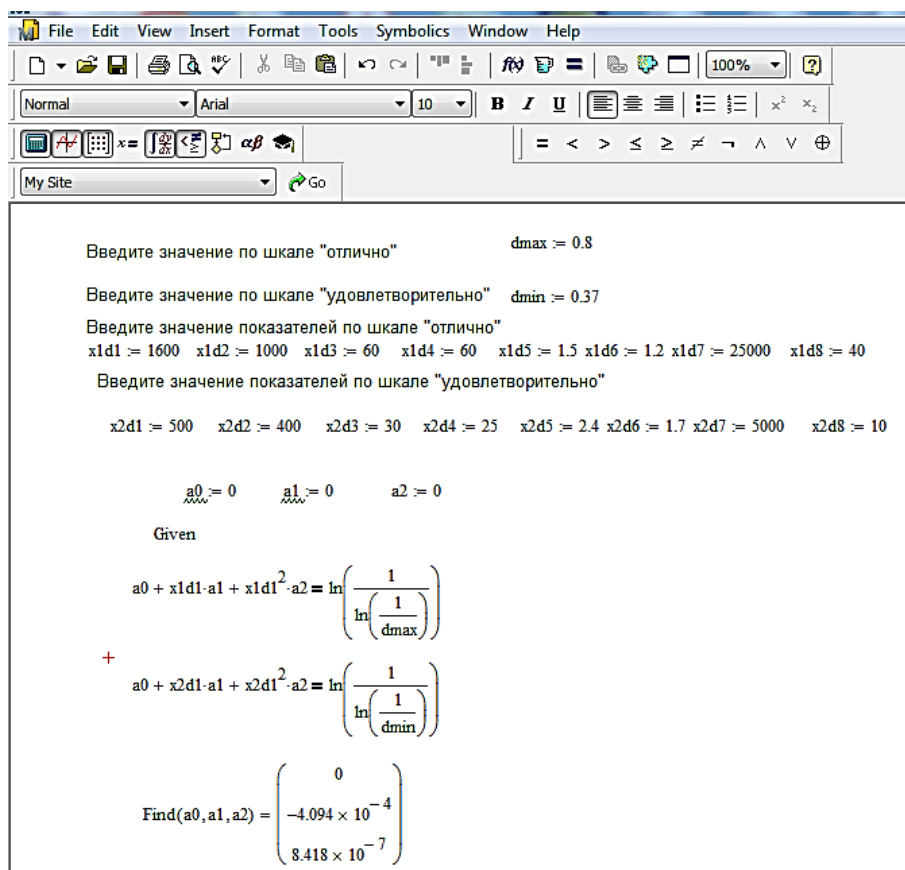


Рис. 3. Фрагмент программной реализации комплексной оценки качества материалов

Таблица 3

Результаты аналитической оценки функции желательности Харрингтона

Номер образцов тканей	Частные желательности								Обобщенная желательность
	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>	d <sub>7</sub>	d <sub>8</sub>	D
1	0,924	0,898	0,903	0,872	0,888	0,918	0,846	0,998	0,905
2	0,754	0,898	0,476	0,37	0,798	0,37	0,988	0,98	0,576
3	0,786	0,898	0,903	0,653	0,798	0,862	0,978	0,798	0,829
4	0,999	0,703	0,973	0,843	0,798	0,765	0,994	0,675	0,835
5	0,924	0,578	0,371	0,318	0,798	0,131	0,666	0,95	0,504
6	0,842	0,861	0,827	0,756	0,85	0,95	0,666	0,999	0,838
7	0,842	0,95	0,973	0,908	0,798	0,862	0,998	0,95	0,908
8	0,652	0,991	0,903	0,95	0,916	0,95	0,998	0,798	0,887
9	0,95	0,815	0,903	0,37	0,798	0,013	0,998	0,993	0,477
10	0,999	0,898	0,973	0,95	0,798	0,862	0,988	0,999	0,931
11	0,968	0,578	0,973	0,37	0,798	0,765	0,846	0,999	0,753
12	0,652	0,703	0,827	0,756	0,798	0,862	0,667	0,999	0,776

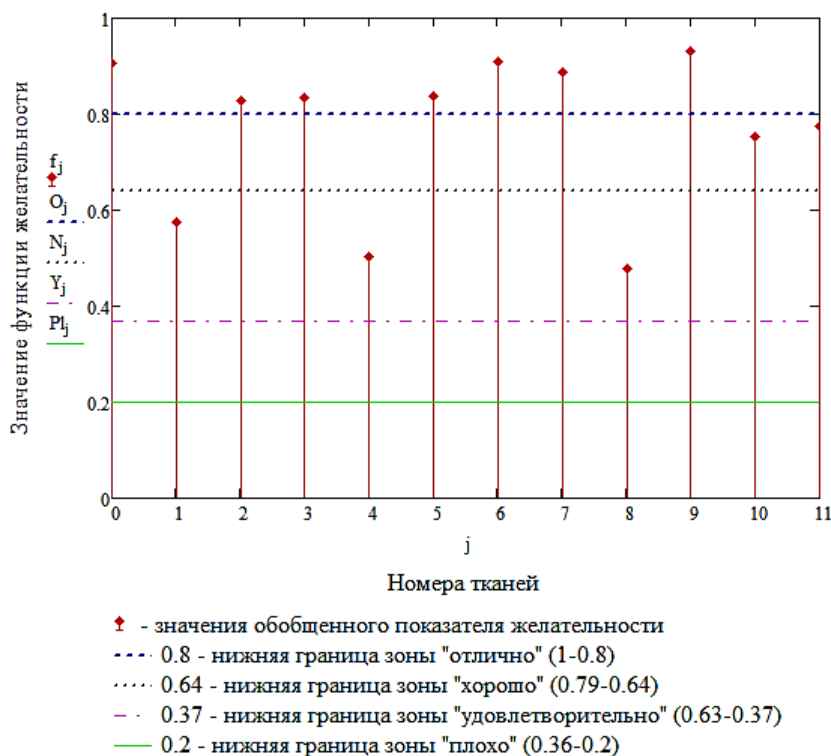


Рис. 4. Графическая оценка обобщенной функции желательности Харрингтона

Использование графического представления результатов исследования позволяет наглядно оценить, в какую зону шкалы желательности попадает обобщенный показатель материала и, соответственно, уровень качества исследуемого изделия. Поскольку к одежде специального назначения предъявляются довольно строгие требования ввиду особенностей ее эксплуатации, поэтому приемлемый уровень качества установим по нижней границе зоны «хорошо», то есть 0,64. Материалы, которые имеют значение комплексного показателя менее 0,64, не могут использоваться для производства спецодежды.

### Заключение

Анализ результатов исследования, представленный в табл. 3 и на рис. 4, показал, что ткани № 2, 5, 9 имеют неприемлемый уровень качества (обобщенный показатель < 0,64). Остальные образцы исследуемых материалов имеют значения обобщенной функции по шкале «отлично» и «хорошо», и их можно рекомендовать для проектирования одежды специального назначения.

Таким образом, в работе предложен подход многокритериальной оценки качества изделий на основе обобщенной функции желательности Харрингтона с применением компьютерных технологий, практическое приме-

нение которого позволит автоматизировать и значительно ускорить оценку соответствия тканей предъявляемым требованиям.

### Список литературы

1. Добровольская Т.А., Маслова А.А. К вопросу комплексной оценки качества материалов для специальной одежды с использованием компьютерных технологий // Костюмология. 2021. № 2. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/17TLKL221.pdf> (дата обращения: 20.04.2022).
2. Ноздрачева Т.М. Эргономическая оценка качества одежды, формирующей правильную осанку, с использованием функции желательности // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2017. № 4 (25). С. 100–108.
3. Мусаев С.С., Самиева Г.О., Мусаева Л.С. Математическое моделирование системы: состав – структура – свойства // Техника. Технологии. Инженерия. 2017. № 2 (4). С. 85–89.
4. Харитонов Е.А., Михайлов О.В. Функция желательности и возможности ее применения для оценки научной деятельности в национальных исследовательских университетах // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 142–145.
5. Осипов С.Ю., Осипов Ю.Р., Богданов Д.А., Шлыков С.А. Оптимизация уровня качества управления производственными процессами // Фундаментальные исследования. 2018. № 3. С. 64–68.
6. Любушин Н.П., Брикач Г.Е. Использование обобщенной функции желательности Харрингтона в многопараметрических экономических задачах // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 18 (369). С. 2–10.
7. ГОСТ Р 57877–2017. Ткани для специальной одежды. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.
8. Хамматова В.В., Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова Э.А., Разумеев К.Э. Технологии производства конкурентоспособных текстильных материалов для специальной одежды: монография. Казань: Изд-во КНИТУ, 2018. 200 с.