


**РАСЧЕТ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАКЕТОВ ОДЕЖДЫ  
МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
(МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО)**

<sup>1</sup>Ж. УСЕНБЕКОВ\* , <sup>2</sup>С.Қ. НҰРБАЙ , <sup>2</sup>Б.Х. СЕИТОВ 

<sup>1</sup>Алматынський технологический университет, Қазақстан, 050012, Алматы, ул. Толе би, 100

<sup>2</sup>Международная образовательная корпорация, Қазақстан, 050043, Алматы, ул. Рыскулбекова 28)

Электронная почта автора корреспондента: Zh.usenbekov@mail.ru\*

*Теплозащитные свойства одежды изучены с учетом влияния детерминированных факторов и не изучено влияние на теплозащитные свойства одежды факторов, имеющих случайный характер. В этой связи актуально исследование для получения объективных значений показателей теплозащитных свойств одежды с учетом характера распределения факторов для партии изделий, которые являются случайными. Зная законы распределения случайных факторов, можно эффективно реализовать расчеты теплоизоляционных свойств пакетов материалов одежды имитационным методом моделирования. В работе разработан метод расчета теплофизических параметров пакетов одежды на основе имитаций случайных параметров, распределенных по нормальному закону. Для расчета составлен алгоритм и программа расчета на языке программирования Python. Выполнен расчет теплофизических параметров пакета одежды, при этом произведен анализ влияния скорости потока ветра на них. При расчете скорости потока ветра, который оказывает существенное влияние на значения эффективного коэффициента теплопроводности пакетов, значения суммарного коэффициента пакетов принимаются с учетом таблицы Бофорта и рекомендаций МЧС Казахстана. Разработанная программа расчета теплофизических характеристик пакета материалов одежды позволяет в процессе вычислений изменять параметры модели: вводить новые слои материалов в пакет, изменять теплофизические и линейные характеристики отдельных слоев пакета, изменять внешние условия.*

**Ключевые слова:** теплозащитные свойства, тепловое сопротивление, эквивалентный коэффициент теплопроводности, имитационное моделирование, скорость потока ветра, пакет материалов одежды, горный туризм, метод Монте-Карло, среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения.

**КИІМ ҚАПТАМАЛАРЫНЫҢ ЖЫЛУДАН ҚОРҒАУ ПАРАМЕТРЛЕРІН  
ЕСЕПТЕУДЕ ТӘРІЗДЕУЛІК ҮЛГІЛЕУ ӘДІСІН  
(МОНТЕ-КАРЛО ӘДІСІ) ҚОЛДАНУ**

<sup>1</sup>Ж. УСЕНБЕКОВ\*, <sup>2</sup>С.Қ. НҰРБАЙ, <sup>2</sup>Б.Х. СЕИТОВ

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Қазақстан, 050012, Алматы, Толе би көш., 100

<sup>2</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы, Қазақстан, 050043, Алматы, Рыскулбеков көш., 28)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: Zh.usenbekov@mail.ru\*

*Киімнің жылудан қорғайтын қасиеттері детерминирленген факторлардың әсерін ескере отырып зерттелген, ал киімнің жылудан қорғайтын қасиеттеріне кездейсоқ факторлардың әсері зерттелмеген. Осыған байланысты бұйымдар партиясы үшін факторлардың таралу сипатын ескере отырып, киімнің жылу қорғау қасиеттерінің көрсеткіштерінің объективті мәндерін алу үшін кездейсоқ болады. Кездейсоқ факторлардың таралу заңдылықтарын тиімді біле отырып, модельдеу әдісін қолдана отырып, киім материалдарының қаптамаларының жылу оқшаулау қасиеттерінің есептеулерін жүргізуге болады. Жұмыста нормал заң бойынша үлестірілген кездейсоқ параметрлерді үлгілеу негізінде киім қаптамаларының термофизикалық параметрлерін есептеу әдісі әзірленді. Есептеу үшін Python бағдарламалау тілінде алгоритм және есептеу бағдарламасы құрастырылды. Киім қаптамасының термофизикалық параметрлері есептеліп, оларға жел ағынының жылдамдығының әсері талданды. Киім материалдарының қаптамасының тиімді жылу өткізгіштік коэффициентінің мәндеріне және қаптамалардың жалпы коэффициентінің мәндеріне айтарлықтай әсер ететін жел ағынының жылдамдығын есептеу кезінде Бофорт кестесін және Қазақстан Төтенше жағдайлар министрлігінің ұсыныстарын ескеру қажет. Киім материалдарының қаптамасының термофизикалық сипаттамаларын есептеуге әзірленген*

*бағдарлама есептеу процесі кезінде үлгі параметрлерін өзгертуге мүмкіндік береді: қаптамаға материалдардың жаңа қабаттарын енгізуді, қаптаманың жеке қабаттарының термофизикалық және сызықтық сипаттама-ларын өзгертуді, сыртқы шарттарды өзгертуді.*

Негізгі сөздер: жылулық қорғаныс қасиеттері, жылу кедергісі, баламалы жылу өткізгіштік коэффициенті, елікпелеп үлгілеу, жел ағынының жылдамдығы, киім материалының пакеті, тау туризмі, Монте-Карло әдісі, арифметикалық орташа және орташа квадраттық ауытқу.

## CALCULATION OF HEAT PROTECTIVE PARAMETERS OF CLOTHING PACKAGES BY METHOD SIMULATION MODELING (MONTE CARLO METHOD)

<sup>1</sup>ZH.USENBEKOV, <sup>2</sup>S.K.NURBAY, <sup>2</sup>B.KH.SEITOV

<sup>1</sup>Almaty Technological University, Kazakhstan, 050012, Almaty, Tole bi str., 100

<sup>2</sup>International Educational Corporation, Kazakhstan, 050043, Almaty, Ryskulbekov str., 28)

Corresponding author e-mail: Zh.usenbekov@mail.ru

*The heat-protective properties of clothing have been studied taking into account the influence of deterministic factors, and the influence of random factors on the heat-protective properties of clothing has not been studied. In this regard, to obtain objective values of indicators of the heat-protective properties of clothing, taking into account the nature of the distribution of factors for a batch of products that are random. Knowing the laws of distribution of random factors effectively, it is possible to carry out calculations of the thermal insulation properties of clothing material packages using the simulation method. The work has developed a method for calculating the thermophysical parameters of clothing packages based on simulations of random parameters distributed according to a normal law. For the calculation, an algorithm and calculation program were compiled in the Python programming language. The thermophysical parameters of the clothing package were calculated, and the influence of wind flow speed on them was analyzed. When calculating the wind flow speed, which have a significant impact on the values of the effective thermal conductivity coefficient of the packages and the values of the total coefficient of the packages, they are taken taking into account the Beaufort table and the recommendations of the Ministry of Emergency Situations of Kazakhstan. The developed program for calculating the thermophysical characteristics of a package of clothing materials allows to change the model parameters during the calculation process: introduce new layers of materials into the package, change the thermophysical and linear characteristics of individual layers of the package, change external conditions.*

**Keywords:** heat-protective properties, thermal resistance, equivalent thermal conductivity coefficient, simulation modeling, wind flow speed, clothing material package, mountain tourism, Monte Carlo method, arithmetic mean and standard deviation.

### **Введение**

Теплозащитные свойства материалов, применяемые для одежды спортсменов экстремального вида спорта, являются наиболее сложными, зависящими от множества физических свойств материалов, составляющих пакет одежды. Среди свойств, которые определяют теплозащитные свойства одежды наиболее важным является тепловое сопротивление пакета материалов. Тепловое сопротивление пакета материалов одежды зависит от целого ряда факторов, таких как: температура, скорость движения и относительная влажность воздуха окружающей среды; воздухопроницаемость, влажность, теплопроводность пакета одежды; толщина пакета одежды, а также статическое или динамическое состояние человека [1-3].

Физико-механические параметры материалов, входящих в состав пакетов в партии, представляются рассеянными в пределах заданных допусков, т.е. являются случайными величинами и поэтому при расчетах теплофизических характеристик пакетов применение статистических методов является актуальной.

*Цель исследования.* Разработка метода расчета теплофизических параметров пакета одежды имитационным методом.

### **Материалы и методы исследований**

Для расчетов суммарного теплового сопротивления материалов в условиях ветра коэффициент теплопроводности воздуха  $\alpha_v$  определяется с учетом скорости ветра по формулам [4]:

$$\begin{aligned} \alpha_v &= 2,4 \cdot v + 2,33 \text{ при } v \leq 4 \text{ м/с,} \\ \alpha_v &= 3,7 \cdot v + 1,163 \text{ при } v \geq 4 \text{ м/с.} \end{aligned} \quad (1)$$

При расчете анализа влияния ветра на тепловые показатели, можно принять скорость ветра с учетом погодных условий [5] в предгорных и горных зонах Алматинской области РК в следующих пределах  $v=0, \dots, 15\text{м/с}$ .

Если считать, что рассматриваемый пакет одежды создает разность температур ( $t_1 - t_2$ ), слои которого имеют сопротивление  $R_{сум}$ , тогда формула переноса тепла внутри одежды примет вид:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\sum_1^n \frac{\delta_b}{\lambda_b} + \sum_1^m \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \frac{1}{\alpha_g}} \quad (2)$$

Величина эквивалентного коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , такого условно однородного материала, который создает те же

условия для прохождения тепла, т.е. ту же разность температур ( $t_1 - t_2$ ) при том же тепловом потоке  $q$ , определяется формулой

$$\lambda = \frac{\delta}{\sum_1^n \frac{\delta_b}{\lambda_b} + \sum_1^m \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \frac{1}{\alpha_g}}, \quad (3)$$

где  $\delta$  - толщина эквивалентного (воображаемого однородного слоя), который равен  $\delta = \sum_1^n \delta_b + \sum_1^m \delta_r$ , тогда величина эквива-

лентного коэффициента теплопроводности  $\lambda$  будет иметь вид:

$$\lambda = \frac{\sum_1^n \delta_b + \sum_1^m \delta_r}{\sum_1^n \frac{\delta_b}{\lambda_b} + \sum_1^m \frac{\delta_r}{\lambda_r} + \frac{1}{\alpha_g}} \quad (4)$$

Анализ современных данных по теплозащитным свойствам отдельных материалов одежды показал, что они довольно хорошо изучены при различных температурах и влажностях внешней среды. Однако теплозащитные свойства одежды в основном изучены с учетом влияния детерминированных факторов, хотя по природе определения факторы, оказывающие влияние на теплозащитные свойства одежды имеют случайный характер. В этой связи для получения объективных значений показателей теплозащитных свойств одежды при расчетах необходимо учитывать характер распределения факторов для партии изделий, которых эффективно можно реализовать имитационным методом моделирования.

Известно, что метод имитационного моделирования (метод Монте-Карло) позволяет, опираясь на строгие законы теории вероятности, свести широкий класс сложных задач к относительно простым арифметико-логическим преобразованиям выборок [6].

Для применения метода имитационного моделирования к расчету параметров теплопроводности пакета верхней одежды необходимо предварительно подготовить теплофизические данные материалов отдельных слоев пакета [7-10]. Для примера рассмотрим схему пакета одежды (рис.1).

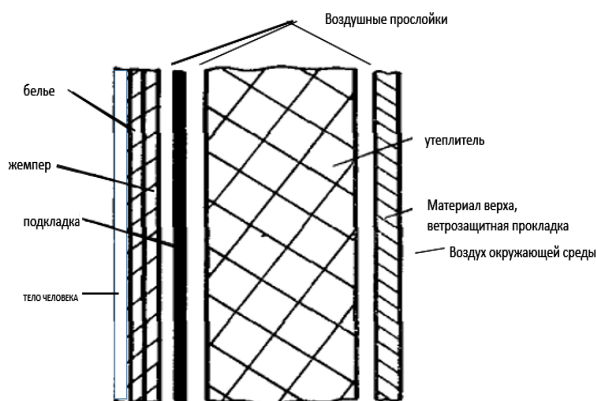


Рисунок 1. Схематическая структура слоев пакета верхней одежды

Для определения статистических характеристик теплофизических параметров были

изготовлены образцы пакетов (согласно структурной схеме рис.1) в количестве 10 шт.) и

произведены замеры их параметров. Замеры параметров производились стандартными методами: толщины материалов измерялись толщиномером МТ 026, теплопроводности слоев пакета прибором SA608F [11-14].

Результаты измерений из-за погрешностей измерений, из-за различий величин деформаций материалов оказались рассеянными в

определенных пределах [15-17]. По результатам замеров были определены их среднее и среднеквадратические значения, как случайных чисел, распределенных по нормальному закону. В таблице 1 приведены среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения (в пределах распределения  $\pm 3\sigma$ ) параметров.

Таблица 1. Статистические показатели свойств слоев пакета

Номера слоя	Состав пакета	Толщина слоя, мм	Коэф. теплопроводности слоя, Вт/(м·°С)
1	белье (хлопчатобумажная майка)	$\delta_1 = 0,4 \pm 0,3;$	$\lambda_1 = 0,038 \pm 0,012$
2	воздух	$\delta_2 = 0,05 \pm 0,05;$	$\lambda_2 = 0,020 \pm 0,008$
3	жемпер	$\delta_3 = 0,8 \pm 0,4;$	$\lambda_3 = 0,042 \pm 0,014$
4	воздух	$\delta_4 = 0,05 \pm 0,05;$	$\lambda_4 = 0,020 \pm 0,008$
5	подкладка	$\delta_5 = 0,15 \pm 0,2;$	$\lambda_5 = 0,040 \pm 0,014$
6	воздух	$\delta_6 = 0,05 \pm 0,05;$	$\lambda_6 = 0,020 \pm 0,008$
7	утеплитель	$\delta_7 = 1,5 \pm 1,0;$	$\lambda_7 = 0,038 \pm 0,012$
8	воздух	$\delta_8 = 0,05 \pm 0,05;$	$\lambda_8 = 0,020 \pm 0,008$
9	ветрозащитная подкладка	$\delta_9 = 0,27 \pm 0,1$	$\lambda_9 = 0,042 \pm 0,014$
10	воздух	$\delta_{10} = 0,05 \pm 0,05$	$\lambda_{10} = 0,038 \pm 0,012$

Для расчета суммарного теплового сопротивления и эквивалентной теплопроводности имитационным методом (методом статистических испытаний) необходимо рассмотреть партию пакетов в количестве N.

Рассмотрим алгоритм расчета параметров теплопроводности методом статистических испытаний (методом Монте-Карло).

Блок схема расчета теплозащитных свойств пакета материалов одежды приведена на рисунке 2.

Как следует из рисунка 2, основными блоками алгоритма моделирования являются:

блок 1 - ввод начальных данных, включающий задание предела изменения значений скорости потока воздуха  $v_{\min}, \dots, v_{\max}$ , количество пакетов в рассматриваемой партии пакета;

блоки 2, 3, 4 - определяют зависимости скорости ветра, по какой формуле определить коэффициент теплопроводности воздуха  $v := \alpha_v$ ;

блок 5 - ввод пределов рассеяния теплофизических параметров слоев пакета  $x_i, \min \leq x_i \leq x_i, \max; z_i, \min \leq z_i \leq z_i, \max; y_i, \min \leq y_i \leq y_i, \max$ ;

блок 6 - генерирует нормально распределенные случайные числа для каждой переменной  $(x_i, z_i, y_i)$  в соответствии с заданными параметрами распределения и вычисляет значение уравнения.

блок 7 - производит вычисления статистических параметров распределения результатов (суммарного теплового сопротивления R и эквивалентного коэффициента теплопроводности  $\lambda$  пакета), такие как: среднее значение, стандартное отклонение, дисперсию, минимальное и максимальное значения.

блок 8 - проверяет условия: выполнен ли расчет для всех пакетов в партии, по  $i \geq N$ ;

блок 9 - рассчитывает статистические параметры распределения результатов расчета:

$$\bar{R} = \frac{\sum_i^N R_i}{N}, \sigma_R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_i^N R_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_i^N R_i)^2 \right]} \quad (5)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_i^N \lambda_i}{N}, \sigma_\lambda = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_i^N \lambda_i^2 - \frac{1}{N} (\sum_i^N \lambda_i)^2 \right]} \quad (6)$$

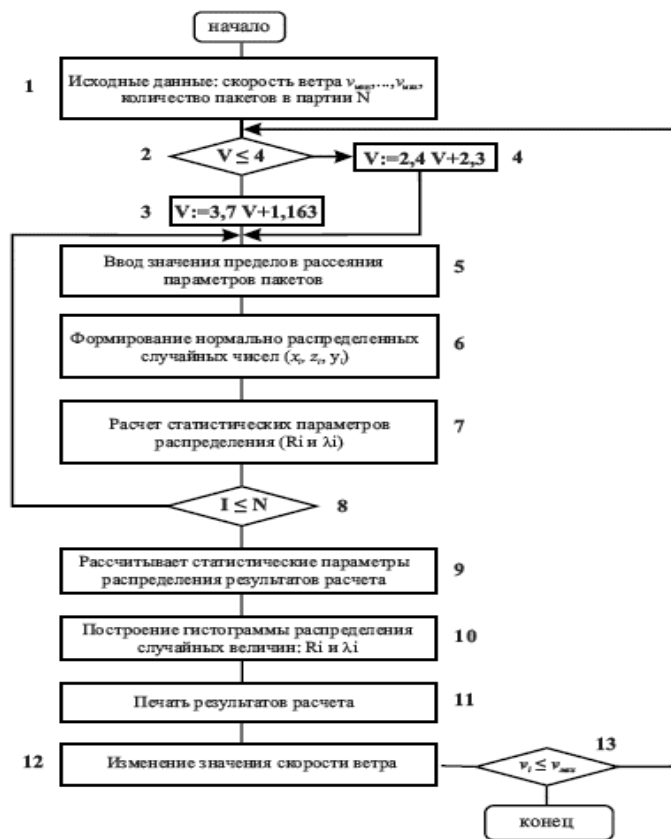


Рисунок 2. Блок-схема расчета теплозащитных параметров пакетов

блок 10 - строит гистограммы распределения результатов  $R$  и  $\lambda$ , используя библиотеку `matplotlib.pyplot`.

блок 11 - производит вывод статистических параметров распределения на печать;

блок 12 - меняет значение скорости воздуха  $v$  и расчет повторяется до тех пор, пока все значения скорости не будут учтены.

Блок 13 – организация цикла расчета по скорости ветра.

На основе этого алгоритма составлена программа на языке программирования Python. Для удобства составления программы произведены некоторые параметры переименования в расчетных уравнениях. Программа расчета составлена при значениях коэффициента теплопроводности воздуха  $a$ , определяемого с учетом скорости ветра по формулам:

$$a = 2,4 \cdot v + 2,33 \text{ при } v \leq 4 \text{ м/с,} \tag{3}$$

$$a = 3,7 \cdot v + 1,163 \text{ при } v \geq 4 \text{ м/с.} \tag{4}$$

После замены обозначений в уравнениях (1), (2), (3) и (4) они преобразуются в следующие виды:

$$\begin{aligned} x_b &= x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \\ y_m &= y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 \\ h_c &= x_b + y_m \\ R_b &= x_1/z_1 + x_2/z_3 + x_3/z_5 + x_4/7 + x_5/z_9 \\ R_m &= y_1/z_2 + y_2/z_4 + y_3/z_6 + y_4/z_8 + y_5/z_{10} \\ R &= R_b + R_m + 1/a \\ L_c &= h_c/R. \end{aligned} \tag{4}$$

При этом аргументы уравнения принимают значения нормально распределенных чисел в пределах:

$$0,1 \leq x_i \leq 0,7$$

$$\begin{aligned}
 &0,026 \leq z_1 \leq 0,05 \\
 &0,1 \leq y_1 \leq 0,10 \\
 &0,012 \leq z_2 \leq 0,028 \\
 &0,4 \leq x_2 \leq 1,2 \\
 &0,028 \leq z_3 \leq 0,056 \\
 &0 \leq y_2 \leq 0,10 \\
 &0,012 \leq z_4 \leq 0,028 \\
 &0,13 \leq x_3 \leq 0,17 \\
 &0,026 \leq z_5 \leq 0,054 \\
 &0 \leq y_3 \leq 0,10 \\
 &0,012 \leq z_6 \leq 0,028 \\
 &0,5 \leq x_4 \leq 2,5 \\
 &0,026 \leq z_7 \leq 0,05 \\
 &0 \leq y_4 \leq 0,1 \\
 &0,012 \leq z_8 \leq 0,028 \\
 &0,17 \leq x_5 \leq 0,37 \\
 &0,028 \leq z_9 \leq 0,056 \\
 &0,1 \leq y_5 \leq 0,2 \\
 &0,026 \leq z_{10} \leq 0,05
 \end{aligned} \tag{4}$$

При выборе скоростей ветрового потока исходим из условной шкалы Бофорта для визуальной оценки силы (скорости) ветра в

баллах и рекомендации МЧС Казахстана [18], что согласно шкале Бофорта, оценивается по двенадцатибалльной шкале (табл. 2).

Таблица 2. Шкала Бофорта

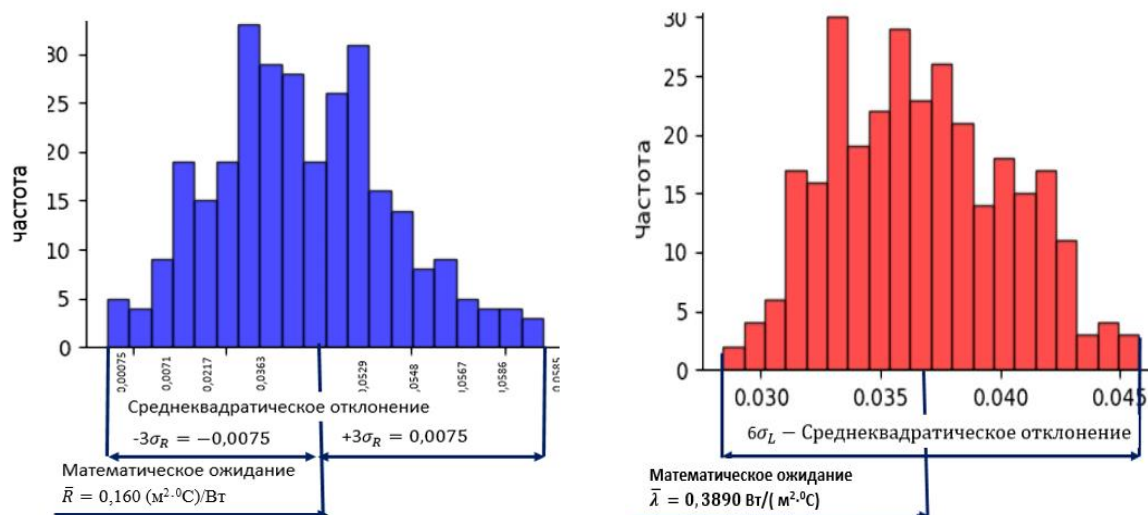
Баллы Бофорта	Средняя скорость ветра	Определение силы ветра
0 баллов	0,0 - 0,2 м/с	Штиль
1 баллов	0,3 - 1,5 м/с	Тихий ветер
2 баллов	1,6 - 3,3 м/с	Легкий ветер
3 баллов	3,4 - 5,4 м/с	Слабый ветер
4 баллов	5,5 - 7,9 м/с	Умеренный
5 баллов	8,0 - 10,7 м/с	Свежий ветер
6 баллов	10,8 - 13,8 м/с	Сильный ветер
7 баллов	13,9 - 17,1 м/с	Крепкий ветер
8 баллов	17,2 - 20,7 м/с	Очень крепкий
9 баллов	20,8 - 24,4 м/с	Шторм
10 баллов	24,5 - 28,4 м/с	Сильный шторм
11 баллов	28,5 - 32,6 м/с	Жестокий шторм
12 баллов	32,7 и более	Ураган

МЧС Казахстана предоставило данные по обеспечению безопасности туристов в горной местности и рекомендации по проведению туристических походов при силе ветра до 7 баллов по шкале Бофорта, и учетом этого скорость ветра считается меняющейся в пределах: 1,10 м/с.

Расчеты произведены для пакетов в (N) количестве партии (условно принимаем N=300).

### **Результаты и их обсуждение**

В результате определены статистические параметры распределения суммарного эквивалентного сопротивления R и эквивалентного коэффициента теплопроводности L, для них построены гистограммы распределения (рис. 3) [9-12].



а) Гистограмма распределения суммарного, эквивалентного сопротивление пакета R. б) Диаграмма распределения эквивалентного коэффициента теплопроводности пакета  $\lambda_0$ .

Рисунок 3. Гистограммы распределения тепловых параметров пакета одежды, полученные методом статистического моделирования (методом Монте-Карло)

Статистические параметры результатов расчета рассматриваемого пакета приведены в таблице 3 .

Таблица 3. Результаты расчета суммарного теплового сопротивления и эквивалентного коэффициента теплопроводности

Скорость воздуха $v$ , м/с	Среднее значение суммарного сопротивления пакета, $\bar{R}$ , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$	Среднеквадратическое отклонение суммарного сопротивления $\pm 3 \sigma_R$	Среднее значение эффективного коэффициента теплопроводности, $\bar{\lambda}$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	Среднеквадратическое отклонение коэффициента теплопроводности $\pm 3 \sigma_\lambda$
0	0,240	0,050	0,2392	0,01500
2	0,220	0,040	0,2623	0,01620
4	0,200	0,030	0,2863	0,01600
6	0,180	0,040	0,3012	0,01700
8	0,160	0,030	0,3596	0,01756
10	0,140	0,020	0,3792	0,02001
12	0,120	0,120	0,3980	0,02150
14	0,010	0,060	0,4089	0,02025

На рисунке 4 приведен график распределения суммарного теплового сопротивления, а на рисунке 5 – график изменения эффектив-

ного коэффициента теплопроводности пакетов в зависимости от потока ветра окружающей среды.

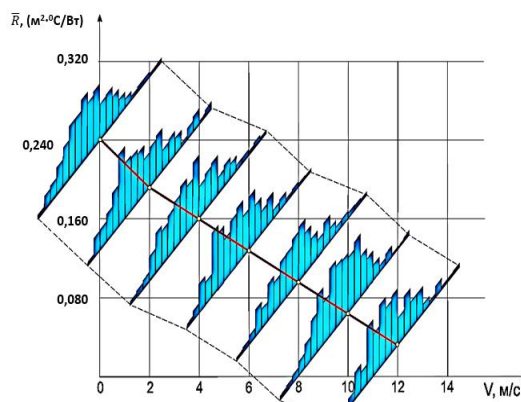


Рисунок 4. График распределения суммарного теплового сопротивления в зависимости от скорости воздуха

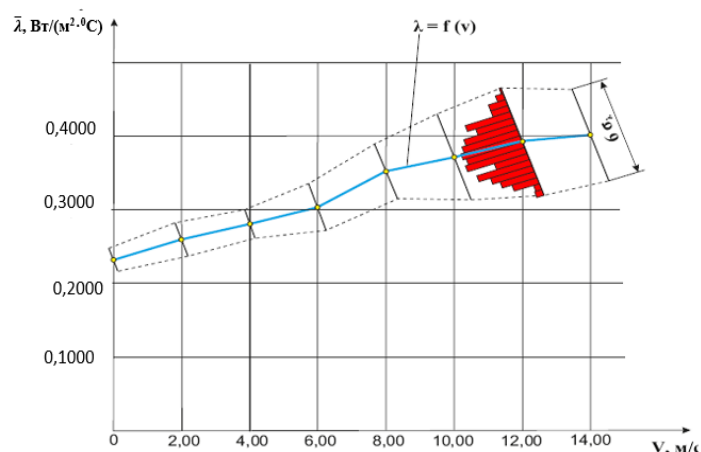


Рисунок 5. График изменения эффективного коэффициента теплопроводности пакетов в зависимости от потока ветра окружающей среды.

### Заключение, выводы

Применение метода имитационного моделирования к расчету теплопроводности пакета верхней одежды для спортсменов горного туризма позволило получить результаты, близкие к реальным.

Разработанная программа расчета теплофизических характеристик пакета материалов одежды позволяет в процессе вычислений изменять параметры модели: вводить новые слои материалов в пакет, изменять теплофизические и линейные характеристики отдельных слоев пакета, изменять внешние условия.

Как показали результаты расчетов с увеличением скорости потока ветра значения эффективного коэффициента теплопроводности пакетов увеличиваются, тогда как значения суммарного коэффициента пакетов в партии снижаются, что связано с уменьшением воздушных пространств вследствие деформации пакетов.

Данную программу расчета теплофизических характеристик пакета материалов одежды можно использовать в процессе проектирования утепленной верхней одежды, изменяя параметры модели: вводить новые слои материалов в пакет, изменять теплофизические и линейные характеристики отдельных слоев пакета, изменять внешние условия.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Williams. Textiles for Cold Weather Apparel. – Woodhead Publishing in Textiles, Woodhead Pub. -2009.-410p.
2. J. Fan, W. Yu, L. Hunter Clothing Appearance and Fit: Science and Technology Woodhead publishingintextiles.-Taylor&Francis.-2004. – 239p.
3. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества: Спра-

вочник / К.Г. Гущина, С.А. Беляева, Е.Я. Командрикова и др. -М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984.-312 с.

4. Хрусталева Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне: учеб. – М. изд-во МГУ, 2005-168с.

5. «12 месяцев». Климат в горах Алматы. 2017. <https://adrenalinicsilence.kz/zametki-o-turisme/12-mesyacev-klimat-v-gorax-Almaty> (дата обращения 09.05.2023).

6. Орлов А.И. Метод статистических испытаний в прикладной статистике. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019;8-5(5):67-79. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-5-67-79>

7. Бойко С.Ю., Назарова М.В. Исследование теплопроводности основоворсовой ткани в зависимости от ее толщины и волокнистого состава уточных нитей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9-2. – С. 11-15; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5821> (дата обращения: 05.05.2024).

8. Шарпар Н.М. Экспериментальное исследование теплопроводности текстильных материалов, входящих в состав одежды силовых структур и специальных ведомств / Н.М. Шарпар, Л.И. Жмакин, К.А. Маркова // Костюмология. — 2020. — Т 5. — №4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf> (дата обращения: 05.05.2024).

9. Mosteller RD. Simplified calculation of body surface area. N Engl J Med 1987; 317:1098

10. Testing device HBP DIN EN ISO 6942 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.wazau.com/en/products/materialtesting/thermometry/thermalbehavior-testing-devices/testing-device-hbp-din-en-iso-6942.html> (дата обращения 22.01.2024)

11. Прибор для определения коэффициента теплопроводности ткани SA608F Fabric Heat Transfer Index Tester. <https://ollen.pro/sa608f-fabric-heat-transfer-index-tester> (дата обращения 15.02.2024).



12. ISO 12127-1:2015 Clothing to protect against heat and flame - Determination of contact heat transmission through clothing or constituent materials - Part 1: Contact heat produced by heating cylinder.

13. ISO 9151:2016 Protective clothing against heat and flame — Determination of heat transmission on exposure to flame 166. ГОСТ Р ИСО 9151-2007 Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и огня. Метод определения теплопередачи при воздействии пламени – Введ. 2007–07–01. М.: Стандартинформ, 2007.- 11 с.

14. ГОСТ ИСО 9151-2021 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от конвективной теплоты. Метод определения теплопередачи при воздействии пламени – Введ. 2022–10–01. М.: Российский институт стандартов, 2021.- 16 с. 168. ISO 12127-1:2015 Clothing to protect.

15. Zhu F, Li Y. Theoretical prediction and experimental characterization of radiative properties and thermal conductivities of fibrous aramid fabrics. *Journal of Industrial Textiles*. April 2021. doi:10.1177/15280837211006209.

16. Li D, Wang Z, Zhu Y, et al. Synergistically improved flame retardancy of the cotton fabric finished by silica-coupling agent-zinc borate hybrid sol. *Journal of Industrial Textiles*. July 2021. doi:10.1177/15280837211028800

17. Zhao Z, Bao W, Di Y, Dai J. Preparation and characterization of solution spinning of protein/cellulose fiber: A new flame-retardant grade. *Journal of Industrial Textiles*. 2017;47(2):233-251. doi:10.1177/1528083716639064

18. Шкала Бофорга. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/442007lang=ru> (дата обращения 08.10.2023)

#### REFERENCES

1. J. Williams. *Textiles for Cold Weather Apparel*. – Woodhead Publishing in Textiles, Woodhead Pub. -2009.-410p.

2. J. Fan, W. Yu, L. Hunter *Clothing Appearance and Fit: Science and Technology* Woodhead publishing in textiles. -Taylor&Francis. -2004. – 239

3. Ekspluatatsionnye svoystva materialov dlya odezhdы i metody ocenki ih kachestva [Performance properties of clothing materials and methods of their quality assessment]: Spravochnik / K.G. Gushchina, S.A. Belyaeva, E.YA. Komandrikova i dr. -M.: Legkaya i pishchevaya prom-st', 1984.-312 p. (In Russian)

4. Hrustalev L.N. *Osnovy geotekhniki v kriolitozone* [Fundamentals of geotechnical engineering in the cryolithic zone]: textbook. – M. MGU publishing house, 2005. (In Russian)

5. «12 mesyacev». *Klimat v gorax Almaty*. 2017. <https://adrenalinicsilence.kz/zametki-o-turisme/-12-mesyacev-klimat-v-gorax-Almaty> (accessed 09.05.2023). (In Russian)

6. Orlov A.I. Metod statisticheskikh ispytaniy v prikladnoy statistike [Statistical test method in applied statistics.]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2019;85(5):67-79. <https://doi.org/10.26-896/1028-6861-2019-85-5-67-79>(In Russian)

7. Bojko S.YU., Nazarova M.V. Issledovanie teploprovodnosti osnovovorsovoj tkani v zavisimosti ot ee tolschiny i voloknistogo sostava utochnyh nitej [Study of thermal conductivity of warp fabric depending on its thickness and fiber composition of weft yarns] // *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy*. – 2014. – № 9-2. – S. 11-15; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5821> (accessed 05.05.2024). (In Russian)

8. Sharpar, N. M. Eksperimental'noe issledovanie teploprovodnosti tekstil'nyh materialov, vkhodyashchih v sostav odezhdы silovyh struktur i special'nyh vedomstv [Experimental study of thermal conductivity of textile materials included in the clothing of power structures and special departments] / N. M. Sharpar, L. I. Zhmakin, K. A. Markova // *Kostyumologiya*. — 2020. — Т 5. — №4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/21TLKL420.pdf> (accessed 05.05.2024). (In Russian)

9. Mosteller RD. Simplified calculation of body surface area. *N Engl J Med* 1987; 317:1098

10. Testing device HBP DIN EN ISO 6942 [Web-resource] – Режим доступа: <http://www.wazau.com/en/products/materialtesting/thermometry/thermalbehavior-testing-devices/testing-device-hbp-din-en-iso-6942.html> (accessed 22.01.2024)

11. SA608F Fabric Heat Transfer Index Tester. <https://ollen.pro/sa608f-fabric-heat-transfer-index-tester> (accessed 15.02.2024).

12. ISO 12127-1:2015 Clothing to protect against heat and flame - Determination of contact heat transmission through clothing or constituent materials - Part 1: Contact heat produced by heating cylinder.

13. ISO 9151:2016 Protective clothing against heat and flame - Determination of heat transmission on exposure to flame 166. GOST R ISO 9151-2007 Occupational safety standards system. Protective clothing against heat and flame. Method of determination of heat transmission on exposure to flame - Introduced. 2007-07-01. Moscow: Standartinform, 2007. 11 p.

14. GOST ISO 9151-2021 System of labor safety standards. Special clothing for protection against convective heat. Method of determination of heat transfer under flame exposure - Introduced. 2022-10-01. Moscow: Russian Institute of Standards, 2021. 16 c. 168. ISO 12127-1:2015 Clothing to protect.

15. Zhu F, Li Y. Theoretical prediction and experimental characterization of radiative properties and thermal conductivities of fibrous aramid fabrics. *Journal of Industrial Textiles*. April 2021. doi:10.1177/15280837211006209.

16. Li D, Wang Z, Zhu Y, et al. Synergistically improved flame retardancy of the cotton fabric finished by silica-coupling agent-zinc borate hybrid sol. *Journal*

of Industrial Textiles. July 2021. doi:10.1177/1-5280837211028800

17. Zhao Z, Bao W, Di Y, Dai J. Preparation and characterization of solution spinning of protein/cellulose fiber: A new flame-retardant grade.

Journal of Industrial Textiles. 2017;47(2):233-251. doi:10.1177/1528083716639064

18. Beaufort scale. Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan. <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/press/news/details/442007lang=ru> (accessed 08.10.2023).

УДК: 687  
МРНТИ: 64.33.1

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-2-206-211>

## АНАЛИЗ ЭЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КУПАЛЬНИКАМ ДЛЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ГИМНАСТИКИ

Н.А. НАДЫРБАЕВА \* , З.Д. МОЛДАҒАЖИЕВА , А.О. РУСТЕМОВА 

(Алматынський технологічний університет, Казахстан, 050012, Алматы, ул. Толе би, 100)  
Электронная почта автора корреспондента: naz\_1@mail.ru\*

*В данной статье проводится всесторонний анализ требований к купальникам для художественной гимнастики, а также рассматриваются различные материалы, применяемые для их изготовления, с особым акцентом на экспериментальное исследование деформационных свойств трех типов бифлекса. Изучены их максимальные способности к удлинению, что имеет ключевое значение для обеспечения комфорта и функциональности спортивной одежды. Подробно описаны методики испытаний, использованные для оценки этих характеристик, и обсуждаются потенциальные применения полученных результатов в дизайне и производстве спортивной одежды. Проведенные исследования позволили сформулировать рекомендации по выбору наиболее подходящих материалов для купальников для художественной гимнастики, учитывая их функциональные и эстетические требования. Особое внимание уделяется таким аспектам, как воздухопроницаемость, эластичность и устойчивость окраски материалов, что обеспечивает долговечность и комфорт при использовании. Результаты исследования демонстрируют, что правильный выбор материалов и технологий их обработки позволяет значительно улучшить качество и эксплуатационные характеристики спортивной одежды, что особенно важно для профессиональных спортсменов. Таким образом, статья представляет ценные рекомендации и выводы, которые могут быть полезны для дизайнеров и производителей спортивной одежды, стремящихся создать продукцию высокого качества, соответствующую современным стандартам и требованиям.*

**Ключевые слова:** художественная гимнастика, спортивная одежда, трикотажные материалы, бифлекс, сублимационная печать, максимальное удлинение, эластичность материала, проектирование купальников, текстильные технологии, функциональные свойства.

## БЕЙНЕЛЕУШІ ГИМНАСТИКА КУПАЛЬНИКТЕРГЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН СЕРПІМДІ ПОЛИМЕРЛІК МАТЕРИАЛДАРДЫ ТАЛДАУ

Н.А. НАДЫРБАЕВА\*, З.Д. МОЛДАҒАЖИЕВА, А.О. РУСТЕМОВА

(Алматы технологиялық университеті, Қазақстан, 050012, Алматы, Төле би көш., 100)  
Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: naz\_1@mail.ru\*

*Бұл мақалада бейнелеуші гимнастика купальниктеріне қойылатын талаптар мен олардың өндірісінде қолданылатын материалдар талданады, сонымен қатар үш түрдегі бифлекстің деформациялық қасиеттерін эксперименттік зерттеуге ерекше назар аударылады. Олардың максималды созылу қабілеті зерттелді, бұл спорттық киімнің ыңғайлылығы мен функционалдылығын қамтамасыз ету үшін маңызды. Осы қасиеттерді бағалау үшін қолданылатын сынақ әдістері егжей-тегжейлі сипатталған және зерттеу нәтижелерінің спорттық киім дизайны мен өндірісіндегі қолданылу мүмкіндіктері талқыланды. Зерттеулер жүргізілгенде, олардың функционалды және эстетикалық талаптарын ескере отырып, бейнелеуші гимнастика купальниктері үшін ең қолайлы материалдарды таңдау бойынша ұсыныстар жасалды. Материалдардың ауа өткізгіштігі, серпімділігі және түсінің тұрақтылығы сияқты аспектілерге ерекше назар аударылады, бұл оларды қолданудағы беріктік пен жайлылықты қамтамасыз етеді. Зерттеу нәтижелері материалдар мен оларды өңдеу технологияларын дұрыс таңдаудың спорттық киімнің сапасы мен пайдалану сипаттамаларын айтарлықтай жақсартуға*