

РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ И ОПТИМИЗАЦИЯ СУММАРНОГО ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОКРОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОДЕЖДЫ ДЛЯ НЕФТЯНИКОВ

Иващенко И.Н.¹, Шмалько С.П.²

¹ ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет», Краснодар, Россия (350040, Краснодар, ул. Ставропольская, 149), e-mail: ivachenkoirin@mail.ru

² НАН ЧОУ ВПО «Академия маркетинга и социально-информационных технологий», Краснодар, Россия (350010, Краснодар, ул. Зиповская, 5), e-mail: shmalko_sis@mail.ru

Появление текстильных материалов с новыми свойствами и развитие компьютерных технологий существенно изменили традиционные подходы к процессам проектирования и производства теплозащитной одежды. В статье представлены результаты проведенного факторного анализа взаимосвязей между показателями теплофизических параметров покровных материалов теплозащитной одежды, таких как суммарное тепловое сопротивление, поверхностная плотность, паропроницаемость, воздухопроницаемость, гигроскопичность, поверхностное заполнение, общая пористость, толщина, влагоотдача. В ней презентуются полученные регрессионные модели перечисленных взаимосвязей, а также рассчитанное максимально возможное суммарное тепловое сопротивление одежды, зависящее от толщины и воздухопроницаемости материалов на примере нефтедобывающего производства южного климатического региона России. Полученные уравнения регрессии могут быть использованы в разработке проектирования и моделирования теплоизоляционных компонентов защитной одежды на предприятиях легкой промышленности, а также в учебном процессе при обучении дисциплинам «Конструирование одежды», «Материаловедение».

Ключевые слова: покровные материалы, регрессионная модель, тепловое сопротивление одежды, факторный анализ.

REGRESSION MODELS AND OPTIMIZATION OF TOTAL HEAT RESISTANCE OF COATING FABRICSS FOR CLOTHING FOR OIL WORKERS

Ivashchenko I.N.¹, Shmalko S.P.²

¹ FSBEU HPE "Kuban State University", Krasnodar, Russia (350040, Moscow, st., 149), e-mail: ivachenkoirin@mail.ru

² NSN PEU HPE "Academy of Marketing and Social Information Technologies", Krasnodar, Russia (350010, Moscow, st. Zipovskaya, 5), e-mail: shmalko_sis@mail.ru

The appearance of textile fabrics with new properties and development of computer technology have significantly changed the traditional approaches to design and manufacturing processes heatproof clothing. The article presents the results of factor analysis of the relationship between indicators of thermal parameters of coating fabric of heatproof clothing, such as the total thermal resistance, surface density, water vapor permeability, air permeability, water absorption, surface filling, total porosity, thickness, water yielding. It describes regression models of these relationships, as well as the calculated maximum possible total thermal resistance of clothing, depending on the thickness and breathable fabric on the example of the oilfield production in the southern region of Russia. The resulting regression equation can be used to develop the design and modeling of thermal insulation components of protective clothing in light industry, as well as in the learning process in teaching subjects "Designing clothes", "Material engineering".

Keywords: coating fabric, the regression model, the thermal resistance of clothing, factor analysis.

Введение

Климатические условия различных регионов России характеризуются непостоянством, резкими перепадами температур воздуха, устойчивой повышенной влажностью и скоростью ветра, частой сменяемостью в течение рабочего дня. В связи с чем возрастает роль одежды, обладающей улучшенными эксплуатационными и защитными свойствами; одежды,

предназначенной для поддержания длительного теплового равновесия между организмом человека и окружающей средой.

Появление текстильных материалов с новыми свойствами и развитие компьютерных технологий существенно изменили традиционные подходы к процессам проектирования и производства теплозащитной одежды. Ранее было рассчитано регрессионное уравнение взаимосвязи теплоизоляции комплекта со средневзвешенной толщиной пакета материалов [5], а также уравнение линейной множественной регрессии [4] взаимосвязи суммарного теплового сопротивления покровных материалов с поверхностной плотностью и воздухопроницаемостью. Были проведены исследования по установлению влияния вредных производственных и климатических факторов на организм человека [2], произведен ориентировочный расчет необходимой теплоизоляции защитной одежды, время допустимого непрерывного пребывания на холоде на примере нефтедобывающего производства южного климатического региона России [1].

1. Факторный анализ показателей свойств покровных материалов

На теплоизоляцию одежды оказывают влияние теплофизические (тепловое сопротивление, теплопроводность, теплоемкость) и структурные (пористость, средняя плотность, толщина) показатели свойств материалов, применяемых в комплекте теплозащитной одежды [3]. Задачей нашего исследования было изучение взаимосвязей между показателями предоставленной выборки многомерного случайного вектора, представляющего собой теплофизические параметры покровных материалов многофункциональной структуры теплозащитной одежды (таблица 1). Наше исследование было необходимо для обоснованных рекомендаций теоретических подходов к разработке проектирования и моделирования теплоизоляционных компонентов защитной одежды для швейной отрасли.

В работе исследовали девять показателей. Первый показатель U – суммарное тепловое сопротивление являлся искомой функцией отклика от остальных показателей: X_1 – поверхностная плотность, X_2 – воздухопроницаемость, X_3 – паропроницаемость, X_4 – гигроскопичность, X_5 – поверхностное заполнение, X_6 – общая пористость, X_7 – толщина, X_8 – влагоотдача. Указанные аргументы взаимозависимы. Например, от толщины зависят:

Таблица 1 – Экспериментальные данные измерений теплофизических параметров многофункциональной структуры теплозащитной одежды для нефтяников

Артикул	Суммарное теплое сопротивление $R_{\text{сум}}$, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$		Поверхностная плотность, г/м^2	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$	Паропроницаемость, $\text{мг/см}^2\text{ г}$	Гигроскопичность, %	Поверхностное заполнение E_s , %	Общая пористость, %	Толщина, мм	Влагоотдача, %
	Без учета ветра	Ветер 5 м/с								
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
81424	0,542	0,668	199	32	10,5	5,8	6,926	92,6	0,51	76,9
81421	0,593	0,675	255	19	10,2	5,4	8,469	88,3	0,63	69,8
10408	0,621	0,630	304	21	10,0	11,7	8,937	85,4	0,73	36,9
10409	0,579	0,673	350	21	10,3	11,3	9,636	79,7	0,88	36,8
81423	0,482	0,667	217	35	9,7	5,4	7,458	92,9	0,45	73,7
18439 ах	0,464	0,641	239	47	11,0	10,9	8,023	90,4	0,59	51,2
87309	0,599	0,631	244	17	10,6	5,8	7,575	91,5	0,47	68,4
16362	0,541	0,666	222	32	10,7	4,3	7,822	90,0	0,72	66,9
Климат 1 80407			223	0	0,9	1,7			0,31	89,07
Климат 2			236	0	6,4	2,3			0,35	79,4
Климат 3			205	0	9,8	1,2			0,32	78,2
80406 (без покрытия)			173	40	11,5	0,9			0,30	78,1

поверхностная плотность, поверхностное заполнение, общая пористость, гигроскопичность, влагоотдача.

Для исключения мультиколлинеарности аргументов регрессионной функции, были предварительно произведены корреляционный и факторный анализы данных средствами пакета STATISTICA ver. 8.0 (StatSoft Inc, 2009г.). На рисунке 1 представлен график собственных чисел ковариационной матрицы (дисперсия факторов).

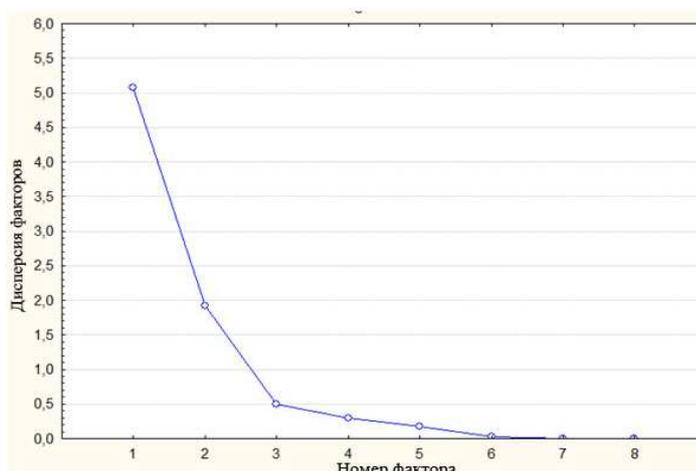


Рисунок 1 – График собственных чисел ковариационной матрицы

По критериям Кайзера и «каменистой осыпи», значимыми являются только первый и второй факторы. По матрице факторных нагрузок (таблица 2) видно, что первым фактором является толщина покровных материалов, вторым – качество покровных материалов, в данной выборке за качество отвечает воздухопроницаемость. В таблице выделены значения факторов с уровнем значимости выше 0,7.

Таблица 2 - Матрица факторных нагрузок

Показатели	Фактор 1	Фактор 2
Поверхностная плотность	0,957238	-0,184483
Воздухопроницаемость	0,101411	0,891027
Паропроницаемость	0,197119	0,905118
Гигроскопичность	0,808146	0,349605
Поверхностное заполнение	0,939979	-0,095881
Общая пористость	-0,905969	0,164784
Толщина	0,866045	0,305598
Влагоотдача	-0,894290	-0,418875

Итак, аргументами регрессионной функции являются толщина и воздухопроницаемость, остальные показатели: поверхностная плотность, паропроницаемость, гигроскопичность, поверхностное заполнение, общая пористость, влагоотдача выражаются через воздухопроницаемость и толщину линейно.

2. Квадратичная регрессионная модель

Средствами пакета STATISTICA ver. 8.0 (StatSoft Inc, 2009г.) была исследована квадратичная регрессионная зависимость (рисунок 2) суммарного теплового сопротивления покровных материалов от воздухопроницаемости (X) и толщины (Y) и получено уравнение (1):

$$U=0,2625+1,1451X-0,0001Y-0,741X^2-0,0054XY-3,011*10^{-5}Y^2 \quad (1)$$

Индекс корреляции полученной зависимости достаточно высок, он равен 0,98. Незначимыми являются коэффициенты: линейного члена для воздухопроницаемости ($\alpha=0,94$), квадратического члена для воздухопроницаемости ($\alpha=0,57$). Значимы все члены регрессии для толщины, большое значение имеет высокий уровень значимости для парного члена с толщиной и воздухопроницаемостью ($\alpha=0,33$). Поэтому из модели (1) они были отброшены линейный и квадратический члены с воздухопроницаемостью и получена следующая регрессионная модель (2):

$$U=0,2048+1,3470X-0,8293X^2-0,0090YX \quad (2)$$

Все параметры модели значимы. Максимальный уровень значимости 0,0017. Индекс корреляции снизился незначительно до 0,979, относительная точность прогноза составляет 4% (рисунок 2, 3).

Рисунок 2 – Квадратичная регрессия зависимость суммарного теплового сопротивления от толщины и воздухопроницаемости

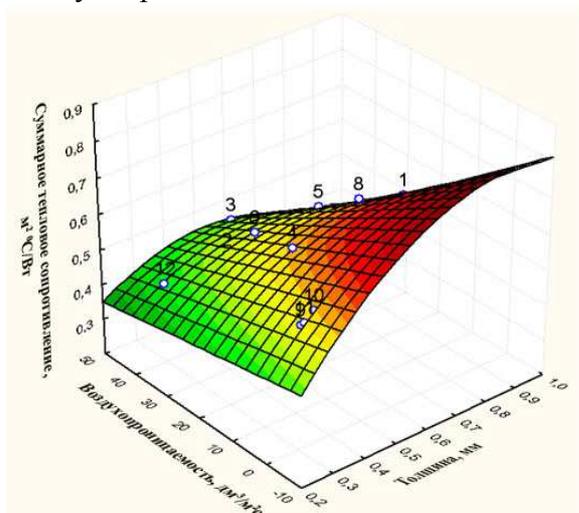
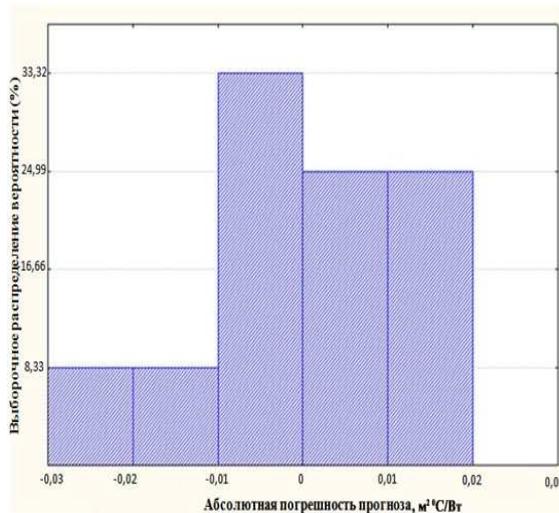


Рисунок 3 – Гистограмма остатков регрессионной модели



3. Максимальное суммарное тепловое сопротивление

Для поиска оптимального значения теплового сопротивления материала была поставлена и решена задача квадратического программирования, состоящая из целевой функции квадратической зависимости (2) и допустимого множества (3):

$$\begin{cases} 0 \leq h \leq 50, \\ 0 \leq a \leq 1, \end{cases} \quad (3),$$

где h – толщина материала, a – воздухопроницаемость материала.

Задача квадратического программирования была решена средствами MathCAD ver.14.0 (Parametric Technology Corporation, 2009г.). В результате чего получено оптимальное значение толщины, равное 0,8; минимально возможное значение воздухопроницаемости – 0; а прогнозируемое суммарное тепловое сопротивление – 0,75.

Благодаря проведённому анализу показателей свойств покровных материалов на примере нефтедобывающего производства южного климатического региона России, полученной регрессионной модели с расчетом максимально возможного суммарного теплового сопротивления, появилась возможность более точно выполнять расчеты толщины покровных материалов, позволяющие установить конструкцию пакета материалов одежды с максимальной теплоизоляцией, отвечающей всем современным требованиям. Так, учет принципов формирования теплоизоляции, сохранение теплового гомеостаза за счет свойств воздухопроницаемости, паропроницаемости и других, обеспечивающих «дышащие» свойства одежды, позволяет достичь соразмерности, соответствия основным гигиеническим принципам, снижения воздействия негативных факторов окружающей среды, сохранения здоровья.

Список литературы

1. Иващенко И.Н., Афанасьева Р.Ф., Беляева С.А. Технология формирования регулируемой структуры теплозащитной одежды с теплофизическими параметрами. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615471 от 17.11.2008.
2. Иващенко И.Н., Беляева С.А. Проектирование теплозащитной специальной одежды для работников нефтедобывающей отрасли / Монография. – Краснодар, 2012. – 110 с.
3. Иващенко И.Н., Кириллова Л.И., Калина О.Н., Замятина Г.С. Исследование взаимосвязи свойств покровных материалов и теплозащитных свойств пакета материалов утепленной одежды // Швейная промышленность. – 2011. - №1. – С. 32-33.

4. Иващенко И.Н., Шмалько С.П. Линейная и квадратичная регрессионные модели покровных материалов теплозащитной одежды для нефтяников // Международный научно-исследовательский журнал № 4, ч. 2. – Екатеринбург, 2014. – С. 28-29.
5. МР№11-0/279-09. Методические рекомендации по расчету теплоизоляции комплекта индивидуальных средств защиты работающих от охлаждения и времени допустимого пребывания на холоде. – М.: Минздрав России, 2001. – 14 с.

Рецензенты:

Камалян Р.З., д.т.н., профессор кафедры математики и вычислительной техники Академии ИМСИТ, г. Краснодар.

Усатиков С.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры информационных образовательных технологий Кубанского государственного университета г. Краснодар.