

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК - СПОРТИВНАЯ ОДЕЖДА»

<sup>1</sup>Розанова Е.А., <sup>2</sup>Москаленко Н.Г., <sup>1</sup>Стрельцов И.П.

<sup>1</sup>ФГОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса»,

Владивосток, e-mail: [elena.legenzova@vvsu.ru](mailto:elena.legenzova@vvsu.ru)

<sup>2</sup>ФГОУ ВПО «Амурский государственный университет»,

Благовещенск, e-mail: [moskalencong@mail.ru](mailto:moskalencong@mail.ru)

---

Выявлена необходимость проведения биокинематических исследований для выбора конструктивных параметров при проектировании изделий, имеющих замкнутый контур (например, комбинезон для занятий экстремальными видами спорта) на основе изучения системы «человек — одежда — окружающая среда». Для проведения биокинематических исследований использовался метод динамической антропометрии. Целью данной работы явилось получение регрессионных моделей изменения линейных параметров (размерных признаков тела человека) при изменении комплексных значений угловых параметров (амплитуды движения в основных суставах) для наиболее экстремальных видов движений (поз). Представленная совокупность исходных данных, характеризующих изменение размеров и формы тела человека для установленных видов движения, составляет наряду с традиционно используемой информацией, основу для выбора конструктивных средств обеспечения динамического соответствия в одежде.

---

Ключевые слова: антроподинамические исследования, динамический эффект, амплитуда движений, регрессионная модель

## DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL TO DETERMINE THE PARAMETERS OF THE CLOSED SYSTEM «MAN - SPORTSWEAR»

<sup>1</sup>Rozanova E.A., <sup>2</sup>Moskalenko N.G., <sup>1</sup>Strel'cov I.P.

<sup>1</sup>Vladivostok State University of Economy and Service (VSUES),

Vladivostok, e-mail: [elena.legenzova@vvsu.ru](mailto:elena.legenzova@vvsu.ru);

<sup>2</sup>Amur State University (ASU), Blagoveshchensk, e-mail: [moskalencong@mail.ru](mailto:moskalencong@mail.ru)

---

The growth of extreme sports, characteristic of modernity, brings to the fore the problem of purposeful improving the range and quality sportswear, which occupies a special place in the complex of measures to ensure a safe and successful activity of sportsmen. Analysis of the offered assortment of sportswear and questionnaire athletes involved in extreme sports have shown the need to develop a jumpsuit with high ergonomic parameters. For developing the design of the suit, which has a closed loop, it was necessary to biomechanics research system «man-sportswear» in order to obtain unbiased source of information to determine the parameters that provide the dynamic compliance service. The program was developed dynamic anthropometry, which has allowed to establish the relationship between the dynamic effects of body dimensions and angular parameters of movements in the most extreme on the mind of the movement poses. Provided to the collection of source data, which characterize change the size and shape of the human body for certain types of traffic, is along with the traditionally used the information basis for the selection of structural funds provide dynamic conformity in dress.

---

Key words: anthropometric studies, the dynamic effect, amplitude of movements, the regression model

### Введение

Занятие спортом имеет важное значение для сохранения здоровья и трудоспособности человека. Рост экстремальных видов спорта, характерный для современности, выдвигает на передний план задачу целенаправленного улучшения ассортимента и качества спортивной одежды, которая занимает особое место в комплексе мероприятий по обеспечению успешной

и безопасной деятельности спортсменов. Необходимость системного подхода к проектированию спортивной одежды объективно обусловлена тем, что одежда является одним из звеньев в системе «человек – одежда — окружающая среда». Оптимизация этой системы требует точной информации о биомеханических параметрах, и невыполнение этого требования влечет за собой в лучшем случае снижение эффективности системы в целом, а в худшем – потерей «прочности» ее важнейшего, человеческого звена [7].

Сопряженность элементов системы «человек-одежда», в первую очередь, определяется антропометрическим соответствием изделия размерам и форме тела человека при выполнении им различных видов движений [1].

### **Цель исследований**

Целью данной работы является получение регрессионных моделей изменения линейных параметров (размерных признаков тела человека) при изменении амплитуды движения в основных суставах на основе изучения биомеханики двигательных процессов. Полученная информация является исходной при выборе конструктивно — технического решения одежды для экстремальных видов спорта, связанных с высокой динамикой движения.

### **Материал и методы исследований**

Объектом исследования является процесс объективизации выбора проектного решения спортивной одежды. При выполнении работы были использованы методология системного подхода к проектированию специальной одежды, методы математической статистики и регрессионного анализа, методы динамической антропометрии.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В ранее проведенных исследованиях уже была получена математическая модель зависимости изменения размерных признаков от углов амплитуды движения в основных суставах [4]. Однако, эти значения справедливы при наличии открытого контура одежды, а значит обеспечения динамики движения за счет дополнительного резерва, например, перемещения низа изделия и низа рукава. По результатам анализа потребительских предпочтений, выполненного на основе анкетного опроса спортсменов, занимающихся экстремальными видами спорта (альпинизм, горные лыжи и т.п.), установлена необходимость включения в ассортимент проектируемых изделий мужского комбинезона.[5] Исследования были проведены на примере разработки комбинезона для спортсменов — альпинистов по предложению туристического центра «Горизонт-Экстрим» г. Благовещенска. Конструктивным отличием комбинезона от других видов одежды является наличие замкнутого контура изделия от линии обхвата шеи (или от точки метопион при наличии капюшона) до уровня пяточной точки, поэтому обеспечение динамического соответствия

конструкции осуществляется только за счет внутреннего резерва.

Изменение размеров тела человека при движении определяют методом динамической антропометрии [3]. Особенность проведения биокинематических исследований для реализации поставленной цели работы заключалась в том, что спортсмен в процессе восхождения должен принимать определенную позу, регламентируемую техническими приемами альпинизма, поэтому в программу измерений были включены комплексные значения угловых параметров, характеризующих наиболее экстремальные виды движений (поз). На рисунке представлен пример характерной позы, буквами обозначены измеряемые углы амплитуды в основных суставах.

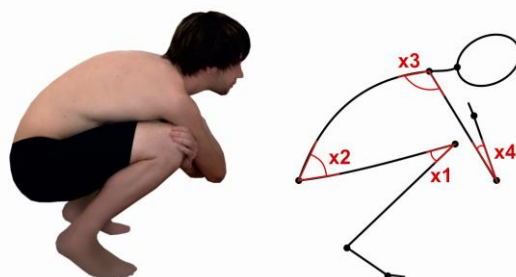


Рисунок – Динамическая поза №1 «Сгибание (разгибание) ноги в коленном суставе (X1) при одновременном наклоне туловища (X2)»

Программа антроподинамических исследований включала 14 размерных признаков, выбранных с учетом их максимальной изменчивости для установленных видов движений. Диапазоны варьирования сочетания углов движений в суставах устанавливались между максимальными и минимальными значениями угловых параметров движений, которые были выбраны с учетом физических возможностей человека фиксировать определенное положение туловища и конечностей.

В ряде исследований [3] было установлено, что биологическая компонента существенно превышает ошибку измерения, поэтому величины динамических эффектов рассчитывались в относительных значениях по формуле:

$$\frac{d_{ij}^d}{d_{ij}^s} \cdot 100, \quad (1)$$

где:  $d_{ij}$  – относительный динамический эффект  $i$ -го размерного признака у  $j$ -той фигуры ( $j = 1, 2, \dots, 100$ ), %;

$d_{ij}^d$ ,  $d_{ij}^s$  – величины  $i$ -го размерного признака в динамическом и статическом (соответственно) положении  $j$ -той фигуры, см.

Для получения зависимостей между показателями  $Y$  (относительного динамического

эффекта  $i$ -го размерного признака) и  $X$  (величин углов амплитуды) использовались методы регрессионного анализа, в том числе линейные и нелинейные функции множественной регрессии [2].

Предложенные модели имеют вид линейной функции множественной регрессии:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (2)$$

или квадратичной нелинейной регрессии:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2, \quad (3)$$

где:  $Y_i$  – зависимая величина;

$X_1, X_2$  – независимые переменные;

$a, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  – искомые коэффициенты.

В случае если линейная функция не дает стабильных результатов, то рекомендуется использовать одну из нелинейных функций регрессии.

Параметры при переменной  $X$  называются коэффициентами «чистой» регрессии. Они характеризуют среднее изменение результата с изменением соответствующего фактора на единицу при неизменном значении других факторов, закреплённом на среднем уровне.

Для проверки качества построенной модели использовался F-критерий Фишера и t-критерий Стьюдента. При этом модель считалась качественной, если значимость F-критерия Фишера меньше 0,05. Чем меньше данный коэффициент, тем модель точнее. Полученные соотношения тестировались для уровня доверия 95%.

Формула для расчета F-критерия Фишера:

$$F = \frac{R^2 / m}{(1 - R^2) / (n - m)}, \quad (4)$$

где:  $n$  – число единиц совокупности;

$m$  – число параметров при переменных  $X$ ;

$R^2$  – коэффициент детерминации.

$F_{\text{табл}}$  – максимально возможное значение критерия под влиянием случайных факторов при данных степенях свободы и уровне значимости  $\alpha$ . Уровень значимости  $\alpha$  – вероятность отвергнуть правильную гипотезу при условии, что она верна. Обычно  $\alpha$  принимается равной 0,05.

Если  $F_{\text{табл}} < F_{\text{факт}}$ , то  $H_0$  – гипотеза о случайной природе оцениваемых характеристик отклоняется и признается их статистическая значимость и надежность. Если  $F_{\text{табл}} > F_{\text{факт}}$ , то гипотеза  $H_0$  не отклоняется и признается статистическая незначимость, ненадежность уравнения регрессии [8].

Аппроксимация экспериментальных зависимостей динамических эффектов от

угловых биомеханических параметров движений тела человека позволила найти значения коэффициентов множественной регрессии статистических характеристик для линейных и нелинейных математических моделей.

Например, полученная регрессионная модель динамического эффекта размерного признака Д1 «длина спины до талии» для сгибания (разгибания) ноги в коленном суставе при одновременном наклоне туловища:

$$Y_1 = 2,324 + 0,01599X_7 + 0,047X_8$$

позволяет определить величину относительного динамического эффекта при любом угле сгибания ноги в коленном и туловища в тазобедренном суставах, заданном в пределах варьирования амплитуды этого движения. Например, для сгибания (разгибания) ноги в коленном суставе на величину угла  $X_1 = 30^\circ$  при одновременном наклоне туловища на величину угла  $X_2 = 40^\circ$  динамический эффект размерного признака «длина спины до талии» составит 12,2 % статического значения этого признака. Регрессионные модели зависимости относительных динамических эффектов размерных признаков от угловых биомеханических параметров представлены в таблице.

Таблица – Регрессионные модели зависимости относительных динамических эффектов размерных признаков от угловых биомеханических параметров

Размерный признак	Усл. обозн. динам. эффект а	Уравнение регрессионной модели	Критерий Фишера
Наклон туловища с горизонтальным отведением (приведением) рук в плечевом суставе			
Длина спины до талии	$d'_1$	$Y_1 = 2,324 + 0,01599X_7 + 0,047X_8$	0,00189556
Расстояние от линии талии до подъягодичной складки	$d'_2$	$Y_2 = -3,321 + 0,0562X_7 + 0,2919X_8$	0,000123
Расстояние от линии талии сзади до середины подколенной ямки	$d'_3$	$Y_3 = 1,877 + 0,007469X_7 + 0,161X_8$	0,000018
Расстояние от линии талии до пяточной точки	$d'_4$	$Y_4 = 1,1388 + 0,003373X_7 + 0,0883X_8$	0,000019
Расстояние от шейной до пяточной точки	$d'_5$	$Y_5 = 1,443 + 0,007229X_7 + 0,076386X_8$	0,000021
Ширина спины	$d_{12}$	$Y_6 = 15,18 + 0,000007X_7^2 - 0,004X_8^2 - 0,000026X_1X_2 + 0,749X_8$	0,0479

Высота плеча косая	$d_{13}$	$Y_7 = 8,598 - 0,0176X_7 + 0,1038X_8$	0,01358
Сгибание (разгибание) руки в плечевом и локтевом суставе при одновременном наклоне туловища			
Расстояние от линии талии до заднего угла подмышечной впадины	$d_6$	$Y_8 = -79,46 + 0,657X_3 + 0,353X_4$	0,00005400
Расстояние от заднего угла подмышечной впадины до локтя	$d_7$	$Y_9 = 33,11 + 0,0418X_3 + 0,185X_4$	0,0000851
Расстояние от заднего угла подмышечной впадины до запястья	$d_8$	$Y_{10} = 20,45 + 0,073X_1 - 0,138X_4$	0,00072172
Расстояние от линии талии через задний угол подмышечной впадины до запястья	$d_9$	$Y_{11} = 0,845 + 0,189X_3 - 0,0461X_4$	0,000109
Отведение (приведение) ноги вертикальное в тазобедренном суставе при одновременном сгибании (разгибании) ноги в коленном суставе			
Расстояние от линии талии сзади до подъягодичной складки	$d'_2$	$Y_{12} = 21,57 - 0,00602X_5 - 0,1383X_6$	0,000033
Длина ноги по внутренней поверхности от точки промежности до верхнеберцовой внутренней точки	$d_{10}$	$Y_{13} = -20,84 + 0,837X_5 + 0,1206X_6$	0,000644
Длина ноги по внутренней поверхности от точки промежности до низа стопы	$d_{11}$	$Y_{14} = 7,773 + 0,319X_5 + 0,0264X_6$	0,00189556
Сгибание (разгибание) ноги в коленном суставе при одновременном наклоне туловища			
Длина спины до талии	$d_1$	$Y_{15} = 18 + 0,305X_1 - 0,367X_2$	0,0000305
Расстояние от линии талии до подъягодичной складки	$d_2$	$Y_{16} = 52 + 1,828X_1 + 1,305X_2$	0,001657293
Расстояние от линии талии сзади до середины подколенной ямки	$d_3$	$Y_{17} = 0,58 + 0,0748X_1 + 0,068X_2$	0,00000246
Расстояние от шейной до пяточной точки	$d_5$	$Y_{18} = 10,22 + 0,392X_1 - 0,394X_2$	0,013053

Наклон шеи и головы вперед (седьмой и первый шейный позвонок)			
Дуга головы	$d_{14}$	$Y_{19} = 12,229 - 0,01358X_7 - 0,0801X_8$	0,75

Получение зависимостей между динамическими эффектами и угловыми параметрами движений дают возможность использования угловых биомеханических параметров в качестве информативных исходных данных для целенаправленного обеспечения динамического соответствия конструкции одежды.

### **Заключение**

Выявлена необходимость проведения биокинематических исследований для выбора конструктивных параметров при проектировании изделий, имеющих замкнутый контур. Для этого разработана программа динамической антропометрии определения динамических эффектов в наиболее экстремальных по виду движения позах. Полученные математические модели имеют вид множественной регрессии или квадратичной нелинейной регрессии: изменения размерных признаков в динамике в зависимости от изменения углов амплитуды сегментов верхних и нижних конечностей. Представленная совокупность исходных данных, характеризующих изменение размеров и формы тела человека для установленных видов движения, составляет наряду с традиционно используемой информацией, основу для выбора конструктивных средств обеспечения динамического соответствия в одежде.

### **Список литературы**

1. Горшков, С.М. Производственная эргономика. – М.: Медицина, 1979. – 334 с.
3. Елисеева, И.И. Эконометрика: учебник. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 230 с.
4. Куршакова, Ю.С. Размерная типология населения стран-членов СЭВ / Ю.С. Куршакова, П.И. Зенкевич, Т.Н. Дунаевская и др. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 440 с.
5. Легензова, Е.А. Проектирование спецодежды с заданным уровнем динамического соответствия: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04. – СПб.: СПбГУТД, 1992. – 180 с.
6. Москаленко, Н.Г. Анализ ассортимента выпускаемой одежды для экстремальных видов спорта / Н.Г. Москаленко, Е.А. Розанова, Чи Фэн // Искусство и технологии в современном социокультурном пространстве: материалы международной научно-практической конференции. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2011. – С. 49 – 521.
8. Москаленко, Н.Г. Проектирование одежды для экстремальных видов спорта с повышенными эргономическими показателями.: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04. –, 2011. – Владивосток, 188 с.
9. Образцов, И.Ф. Проблемы прочности в биомеханике – М.: Высшая школа, 1988. – 276 с.
10. Эндрюс, Дж. Математическое моделирование / Дж. Эндрюс, Р. Мак-Лоун – М.:

Изд-во «Мир», 1979. – 249 с.

The list of references

1. Gorshkov, S.M. Proizvodstvennaja ergonomika. [Industrial ergonomics]. Moscow, Medicine, 1979. 334 p.

3. Eliseeva, I.I. Jekonometrika: uchebnik. [Econometrics: a tutorial]. Moscow, Finance and statistics, 2002. 232 p.

4. Kurshakova, Ju.S., P.I. Zenkevich, T.N. Dunaevskaja i dr. Razmernaja tipologija naselenija stran-chlenov SJeV. [Dimensional typology of the population of the CMEA countries]. Moscow, Legkaja industrija, 1974. 440 p.

5. Legenzova, E.A. Proektirovanie spetsificheskogo s zadannym urovnem dinamicheskogo sootvetstvija: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.19.04. [Design of clothing with a specific level of dynamic compliance: dis. ... Cand. tehn. Sciences: 05.19.04.]. Sankt-Peterburg, 1992. 180 p.

6. Moskalenko, N.G., E.A. Rozanova, Chi Fjen. Analiz assortimenta vypuskaemoj odezhdy dlja ekstremal'nyh vidov sporta. *Iskusstvo i tehnologii v sovremennom sociokul'turnom prostranstve: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*. [Analysis of the assortment of clothes for extreme kinds of sport]. Blagoveshchensk, Amgu Publ., 2011. P. 49 – 52.

8. Moskalenko, N.G. Proektirovanie odezhdy dlja ekstremal'nyh vidov sporta s povyshennymi jergonomicheskimi pokazateljami.: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.19.04. [Design of clothing for extreme sports with high ergonomic parameters.: Dis. ... Cand. of sciences: 05.19.04.]. Vladivostok, 2011. 188p.

9. Obrazcov, I.F. Problemy prochnosti v biomehanike [Problems of strength in biomechanics]. Moscow, Vysshaya SHKOLA Publ., 1988. 276 p.

10. Jendrjus, Dzh., R. Mak-Loun. Matematicheskoe modelirovanie. [Mathematical modeling]. Moscow, «Mir» Publ., 1979. 249 p.

**Рецензенты:**

Бойцова Т.М., д – р техн. наук, профессор, директор института сервиса, туризма и дизайна Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, г. Владивосток;

Шеромова И.А., д – р техн. наук, профессор кафедры сервисных технологий Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, г. Владивосток.