

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МУЖЧИН ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ВОЗРАСТЕ 20–55 ЛЕТ

Т.С. Прокошина

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет», Орел

Представлены результаты обработки антропометрического материала, полученного при измерении следующих эргономических признаков: «рост», «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом», «высота локтя руки над полом» [Вудсон с соавт., 1968]. Было обследовано 500 мужчин Орловской области русской национальности в возрасте от 20 до 55 лет. Полученный материал с помощью дискретного описания был сгруппирован для дальнейшего использования и выявления типичных черт изучаемого признака. В процессе вариационно-статистической обработки эмпирических данных были определены статистические характеристики изменчивости значений каждого признака, позволившие выявить основные закономерности их варьирования, и выбран тип теоретического распределения – нормальное распределение. Проверка гипотезы о соответствии теоретическому закону, проведенная с помощью критерия согласия Колмогорова, указывает на незначительное расхождение между эмпирическими и теоретическими частотами. Полученные результаты позволили утверждать, что закон нормального распределения, выбранный для характеристики эмпирических распределений исследуемых признаков, отражает существенные черты опытных данных и может быть принят в качестве модели для исследуемых признаков.

При анализе эмпирических распределений применялись показатели асимметрии и эксцесса. Во всех случаях значения коэффициентов асимметрии и эксцесса незначительны по величине, что позволяет утверждать о незначительном отклонении статистического распределения исследуемых признаков от нормального, что подтверждается допустимыми значениями показателя погрешности, который во всех случаях менее 5%.

В работе определены значения исследуемых эргономических признаков, соответствующие 1, 5, 50, 95 и 99-му перцентиллям, которые могут широко использоваться в практике проектирования оборудования и для выполнения эргономических расчетов, анализов и оценок.

Для построения и анализа модели корреляционной связи между исследуемыми эргономическими признаками, а также для оценки степени тесноты этой связи, выполнен корреляционно-регрессионный анализ. В результате получены модели, позволяющие определять значения результативных признаков «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом» и «высота локтя руки над полом» от любого значения факторного признака «рост». Установлено, что между исследуемыми размерными признаками существует высокая степень связи, на что указывают значения коэффициента корреляции. Выявленные при помощи *t*-критерия Стьюдента значимые показатели корреляции и регрессии также свидетельствуют о существенной связи между размерными признаками и дает возможность признать эти параметры значимыми.

Ключевые слова: антропометрия, эргономические признаки, эмпирический материал, теоретическое распределение, перцентили, корреляционная связь, регрессионная зависимость

## Введение

Рабочее место необходимо спроектировать так, чтобы оно не было источником неблагоприятных условий труда. Соответствие параметров рабочего места размерным данным человека способствует уменьшению величины нагрузки при работе, снижению вероятности возникновения заболеваний и сохранению высокой и устойчивой работоспособности и производительности труда.

Применительно к задачам эргономического конструирования необходимо учитывать антропометрические особенности человека. Для этого широкое применение имеют антропометрические данные, которые представлены в различных атласах, справочниках и статьях. Но в основном, эти материалы содержат либо устаревшие данные (более 25 лет) [Антропометрический атлас, 1977], либо в них представлены размеры тела европейцев и американцев [Вудсон с соавт., 1968; Мутафов с

соавт., 1985; Рунге с соавт., 2005; Колосова с соавт., 2011], либо в них не указаны годы сбора материала [Лубенский с соавт., 1971], либо они не содержат антропометрические характеристики интересующего контингента населения [Строкина с соавт., 1999]. В связи с этим представленный нами антропометрический материал может иметь большое значение при эргономическом проектировании новых рабочих мест и анализе уже имеющихся, конструировании машин и производственного оборудования и выполнении их эргономического анализа, разработке мероприятий по улучшению условий труда людей различных профессий, для применения эргономических размеров тела во многих сферах.

### Материалы и методы

В соответствии с задачами исследования для изучения были выбраны следующие эргономические признаки, измеряемые в положении стоя: «рост»; «досыгаемость руки, отведенной в сторону»; «высота плеча над полом»; «высота локтя руки над полом». В основу измерений была положена методика, предложенная У. Вудсон и Д. Коновер [Вудсон с соавт., 1968]. Получение и систематизация антропометрического материала выполнялись в два этапа. Первый этап – сбор материала, т.е. измерения изучаемой группы людей. Второй этап – статистическая обработка материала. Нами было измерено 500 мужчин Орловской области русской национальности в возрасте от 20 до 55 лет. Полученный в результате проведенных измерений материал с помощью дискретного описания группировали для выявления типичных черт изучаемых признаков [Козлов с соавт., 1975; Румшицкий, 1976].

В процессе вариационно-статистической обработки эмпирических данных определяли основные статистические характеристики изменчивости значений признака: среднюю арифметическую ( $M$ ), дисперсию ( $D$ ), среднее квадратичное отклонение ( $S$ ), коэффициент вариации ( $V$ ), относительную ошибку средней ( $\pm m$ ).

Для характеристики эмпирического распределения применяемых эргономических признаков выбрали тип теоретического распределения – нормальное распределение. Затем по уравнению нормального распределения производили выравнивание эмпирических частот. Близость эмпирических и теоретических распределений оценивали с помощью критерия Колмогорова, который основывается на соотношении накопленных частот того и другого ряда. По абсолютной величине

максимальной разности накопленных частот эмпирического и теоретического рядов находили величину ( $\lambda$ ) и определяли вероятность достижения величины  $P(\lambda)$ , [Венецкий с соавт., 1975].

Далее, используя метод моментов [Ширяев, 1979; Айвазян с соавт., 1983], определяли величину асимметрии и эксцесса. Для количественной оценки соответствия эмпирического и теоретического распределений использовали показатель погрешности ( $\Pi$ ), предложенный М.В. Игнатьевым [Игнатьев, 1951; Коблякова с соавт., 1980].

Для исследуемых эргономических признаков определяли значения 1, 5, 50, 95 и 99-го перцентилей ( $P_j$ ) [Лакин, 1990].

Для построения и анализа модели корреляционной связи между исследуемыми эргономическими признаками и оценки степени тесноты этой связи применяли корреляционно-регрессионный анализ. В качестве факторного признака приняли признак «рост», обозначив его  $k_s$ , а признаки «досыгаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом» и «высота локтя руки над полом» определили результативными и обозначили их  $r_s$ ,  $s_s$  и  $e_s$  соответственно. Выбор формы и направления связи между исследуемыми признаками осуществляли путем построения корреляционного поля связи между признаками:  $k_s - r_s$ ;  $k_s - s_s$ ;  $k_s - e_s$ .

Используя программный комплекс «Mathcad15», получили уравнения, определяющие параметры теоретической линии регрессии. Для оценки тесноты связи между эргономическими признаками определяли значения коэффициента корреляции  $r$ . Для определения доли изменений результативных признаков  $r_s$ ,  $s_s$  и  $e_s$ , зависящих от изучаемого фактора  $k_s$ , определяли коэффициент детерминации  $r^2$ .

Проверку значимости показателей корреляции и регрессии производили с помощью t-критерия Стьюдента. Для оценки надежности коэффициента корреляции вычисляли его ошибку  $s_r$  и критерий значимости  $t_r$ . Вычисленные значения критериев  $t_r$  и  $t_b$  сравнивали с их критическими значениями, [Доспехов, 1979; Маневич, 1970].

### Результаты

Основные статистические характеристики изменчивости значений эргономических признаков представлены в таблице 1.

Значение коэффициента вариации ( $V$ ) для всех измеренных признаков указывает на незначительную изменчивость эмпирического материала, так как его величина во всех случаях не превы-

**Таблица 1. Статистические характеристики количественной изменчивости распределения изучаемых эргономических признаков**

Признак	M	$\pm m$	D	S	V
«Рост», см	177	0,15	39,10	6,25	3,53
«Досыгаемость руки, отведенной в сторону», см	83	0,21	15,70	3,96	4,77
«Высота плеча над полом», см	147	0,18	35,99	5,99	4,07
«Высота локтя руки над полом», см	112	0,23	35,33	5,94	5,3

шает 10%. Из полученных значений относительной ошибки средней ( $\pm m$ ) следует, что средние значения изучаемых признаков отличаются от вычисленных нами не более чем на 0,15% для признака «рост»; на 0,21% для «досыгаемости руки, отведенной в сторону»; на 0,18% для признака «высота плеча над полом» и на 0,23% для признака «высота локтя руки над полом». Таким образом, полученные статистические характеристики распределений выразили существенные особенности эмпирического распределения и позволили выявить основные закономерности варьирования результатов.

Проверка гипотезы о соответствии принятого теоретического закона распределения, проведенная с помощью критерия Колмогорова, показала, что для всех изучаемых признаков вероятность достижения величины  $P(\lambda)$  значительно больше 0,05 (табл. 2). Это дает возможность утверждать, что расхождение между эмпирическими и теоретическими частотами не существенно и вполне могло быть случайным. Принятый закон нормального распределения отражает существенные черты опытных данных и его можно принять в качестве модели эмпирического распределения для исследуемых эргономических признаков.

Значения коэффициентов асимметрии ( $A$ ) и эксцесса ( $E$ ), представленные в таблице 3, во всех случаях не значительны по величине, на основании чего можно утверждать о несущественном отклонении эмпирического распределения от нормального. Последнее утверждение подтверждается допустимыми значениями показателя погрешности ( $\Pi$ ), с помощью которого провели оценку соответствия эмпирического и теоретического распределений и который во всех случаях меньше 5% (табл. 3). Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что отклонения эмпирического ряда от нормального распределения не существенны.

Полученные значения признаков, соответствующие 1, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям, представлены в таблице 4.

**Таблица 2. Вероятность достижения величины  $P(\lambda)$  при значении  $\lambda$** 

Признак	$\lambda$	$P(\lambda)$
«Рост»	0,67	0,7920
«Досыгаемость руки, отведенной в сторону»	0,62	0,8643
«Высота плеча над полом»	0,54	0,9228
«Высота локтя руки над полом»	0,35	0,9997

**Таблица 3. Значения коэффициентов асимметрии, эксцесса и погрешности**

Признак	A	E	$\Pi$
«Рост»	0,30	0,18	4,70
«Досыгаемость руки, отведенной в сторону»	0,02	-0,41	2,56
«Высота плеча над полом»	0,31	0,07	4,28
«Высота локтя руки над полом»	-0,11	-0,35	3,40

Наглядное представление о существующей связи между исследуемыми признаками дают построенные корреляционные поля. Полученные регрессионно-корреляционные модели (рис. 1, 2, 3) показывают соотношение между значениями факторного и результативных признаков и позволяют определять значения признаков  $r_s$ ,  $s_s$  и  $e_s$  для любого значения признака  $k_s$ .

Анализируя значения коэффициентов корреляции ( $r$ ), детерминации ( $r^2$ ) и регрессии ( $b$ ), представленных в таблице 5, можно говорить, что между исследуемыми размерными признаками существует высокая степень связи. На это указывает значения коэффициента корреляции ( $r$ ), который во всех случаях находится в пределах от  $\pm 0,75$  до  $\pm 0,99$ . Судя по коэффициенту детерминации ( $r^2$ ), примерно 95% изменений значений признака  $s_s$ ,

Таблица 4. Значения эргономических признаков, соответствующие 1, 5, 50, 95 и 99-му перцентилям

Признак	1%	5%	50%	95%	99%
«Рост», см	159,0	167,9	177,1	188,8	194,2
«Дотягаемость руки, отведенной в сторону», см	71,6	76,7	82,9	89,6	91,8
«Высота плеча над полом», см	132,0	138,2	146,8	158,4	163,3
«Высота локтя руки над полом», см	97,5	102,1	112	121,9	124,4

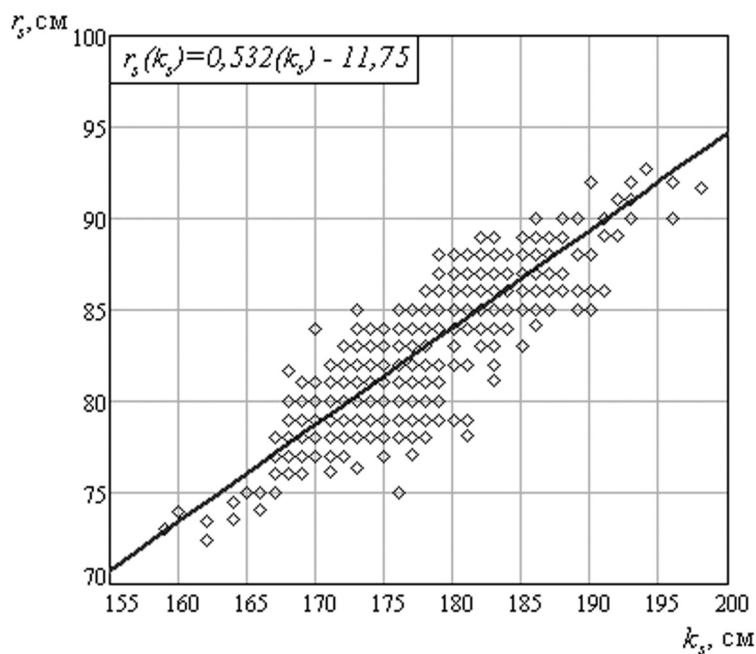


Рис. 1. Регрессионная зависимость признака «дотягаемость руки, отведенной в сторону» от признака «рост»

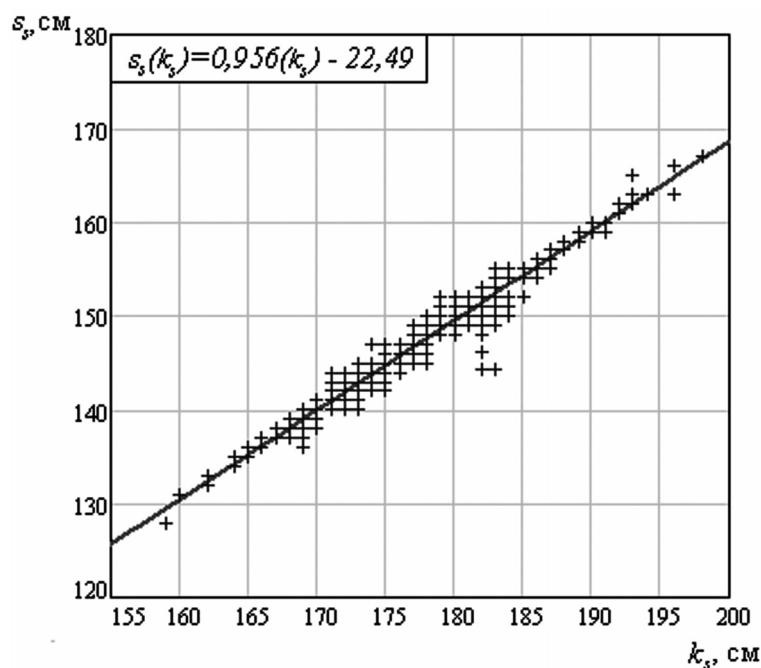


Рис. 2. Регрессионная зависимость признака «высота плеча над полом» от признака «рост»

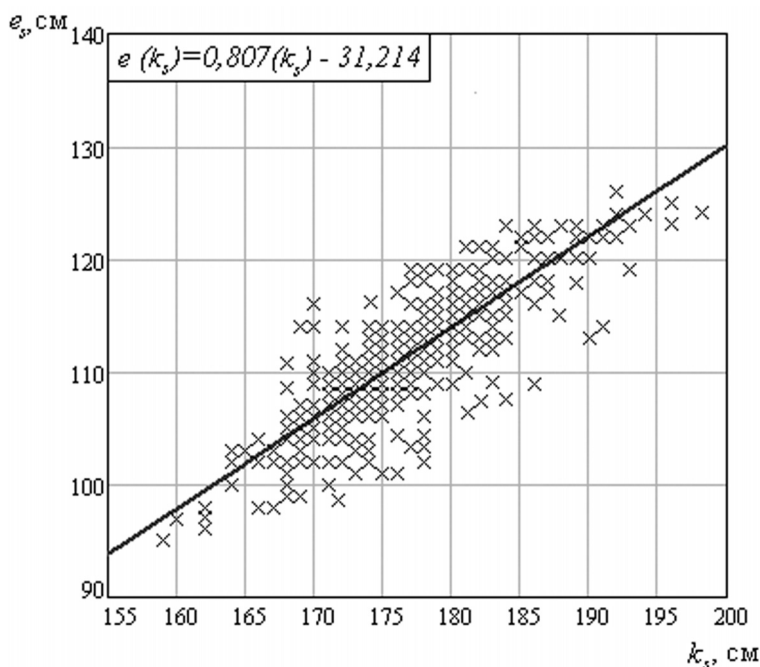


Рис. 3. Регрессионная зависимость признака «высота локтя над полом» от признака «рост»

73% изменений признака  $e_s$  и 70% изменений признака  $r_s$  обусловлено изменениями величины признака  $k_s$ . Коэффициент регрессии ( $b$ ) указывает, что увеличение роста человека на 1 см соответствует увеличению досягаемости руки, отведенной в сторону в среднем на 0,532 см, высоты плеча над полом – на 0,956 см, высоты локтя руки над полом – на 0,807 см.

Проверка значимости показателей корреляции и регрессии, результаты которой представлены в таблице 6, показала, что расчетные значения критериев значимости коэффициентов корреляции и регрессии больше их критического значения (1,96), что свидетельствует о высокой достоверности связей между размерными признаками и дает возможность признать параметры  $r$  и  $b$  значимыми, т.е. нулевая гипотеза отвергается.

### Выводы

Анализ антропометрических данных установил, что эмпирическое распределение эргономических признаков «рост», «досягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом» и «высота локтя руки над полом» незначительно отклоняется от нормального, что подтверждается допустимыми значениями показателя погрешности (менее 5%) и коэффициентов асимметрии и

Таблица 5. Значения показателей корреляционных связей

Корреляционная связь	$r$	$r^2$	$b$
$k_s - r_s$	0,838	0,70	0,532
$k_s - s_s$	0,975	0,95	0,956
$k_s - e_s$	0,857	0,73	0,807

Таблица 6. Стандартные ошибки и критерии значимости коэффициентов корреляции и регрессии

Корреляционная связь	$s_r$	$s_b$	$t_r = t_b$
$k_s - r_s$	0,0244	0,0154	34,4
$k_s - s_s$	0,0099	0,0097	98,5
$k_s - e_s$	0,0230	0,0216	37,3

эксцесса, характеризующими это отклонение как несущественное.

Полученные значения исследуемых признаков, соответствующие 1, 5, 50, 95 и 99-му перцентилем, могут быть эффективно использованы для эргономических расчетов, анализов и оценок.

Между рассматриваемыми эргономическими признаками существует линейная корреляционная связь, высокая степень которой подтверждается значительными величинами коэффициента корреляции  $r$ , значение которого во всех случаях находится в пределах от  $\pm 0,75$  до  $\pm 0,99$ . Полученные корреляционно-регрессионные зависимости позволяют определять значения признаков «дотягаемость руки, отведенной в сторону», «высота плеча над полом», «высота локтя руки над полом» от любого значения признака «рост» ожидаемого контингента пользователей.

### Библиография

- Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983.
- Антропометрический атлас: методические рекомендации. М.: ВНИИТЭ, 1977.
- Венецкий И.Г., Кильдишев В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Статистика, 1975.
- Вудсон У., Конновер Д.* Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. М.: Мир, 1968.
- Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979.
- Игнатъев М.В.* Анализ антропометрических данных, применяемых при построении стандартов // Теория и методы антропологической стандартизации применительно к массовому производству изделий личного пользования. М.: МГУ, 1951. С. 14–71.
- Коблякова Е.Б., Савостицкий А.В., Ивлева Г.С.* Основы конструирования одежды. М.: Легкая индустрия, 1980.
- Козлов В.С., Эрлих Я.М., Долгушевский Ф.Г.* Общая теория статистики. М.: Статистика, 1975.
- Колосова И.И., Шкиро Е.А.* Эргономика минимальных пространств // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2011. № 4. С. 62–77.
- Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1990.
- Лубенский В., Янко Н.* Определение оптимальных параметров сидений для отдыха // Техническая эстетика, 1971. № 11. С. 15–16.
- Маневич Ш.С.* Простейшие статистические методы анализа результатов наблюдений и планирования экспериментов. Казань: Изд-во КСХИ, 1970.
- Мутафов С., Горанов И, Селетлиев Д.* Антропологична-ергономична характеристика на българското население. София: БАН, 1985. 155 с.
- Румицкий Л.З.* Элементы теории вероятностей. М.: Наука, 1976.
- Рунге В.Ф., Манусевич Ю.П.* Эргономика в дизайне среды. М.: Архитектура-С, 2005.
- Строкина А.Н., Пахомова В.А.* Антропо-эргономический атлас. М.: Изд-во МГУ, 1999.
- Ширяев А.Н.* Вероятность. М.: Наука, 1979.

Контактная информация:

Прокошина Татьяна Сергеевна: e-mail: proka@rambler.ru.

## RESEARCH ON ERGONOMIC CHARACTERISTICS OF MEN FROM THE OREL REGION AGED 20–55 YEARS

T.S. Prokoshina

*Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education «Orel State Agrarian University», Orel*

*The article presents results of processing the anthropometric data, obtained via measurements of the following ergonomic characteristics: «body height», «side arm reach», «shoulder height from the floor», «elbow height from the floor». Five hundred men of Russian nationality aged from 20 to 55 years from the Orel region have been measured. The obtained material was grouped by means of discrete description for subsequent use and for determination of typical values for the studied traits. Statistical characteristics of value variability for each trait have been defined during processing of the empirical data using variational statistics. This revealed the main variation patterns for the results and allowed to choose a type of theoretical distribution – normal distribution. The hypothesis testing for the compliance with the theoretical law using Kolmogorov's criterion indicates that differences between empirical and theoretical frequencies are insignificant. As a result, it is possible to state that normal distribution reflects the essential characteristics of the experimental data and can be adopted as a model for the studied traits.*

*Measures of skewness and kurtosis were applied in the analysis of the empirical distribution. All values of skewness and kurtosis are insignificant, which allows us to state that deviation of statistical distribution from the normal is insignificant.*

*In this work values of the studied ergonomic characteristics corresponding to 1, 5, 50, 95, 99 percentiles are defined. This values can be used for designing equipment and for ergonomic calculations and analyses.*

*As a result of correlation and regression analysis, models were developed, allowing to determine values of the effective traits «side arm reach», «shoulder height from the floor», «elbow height from the floor» from a value of the factor trait «body height». Existence of high-degree correlation between considered ergonomic characteristics as indicated by the values of the correlation coefficient is established. The test on significance of correlation and regression parameters is performed using Student's criterion. The results make it possible to recognize that these parameters are significant.*

*Keywords: anthropometry, ergonomic characteristics, the empirical material, theoretical distribution, percentile, correlation, regression dependence*