

УДК 613.48:687.1

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_224

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЯСНОГО РЕМНЯ  
НА ТЕПЛОВУЮ ЗАЩИТУ ЧЕЛОВЕКА В ПУХОВОЙ ОДЕЖДЕ**

**STUDY OF THE INFLUENCE OF A WAIST BELT  
ON THERMAL PROTECTION OF A PERSON IN DOWN CLOTHES**

*С.А. КОЛЕСНИК, М.А. ГОНЧАРОВА, И.Ю. БРИНК*

*S.A. KOLESNIK, M.A. GONCHAROVA, I.YU. BRINK*

(Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)  
Донского государственного технического университета,  
Государственный региональный центр стандартизации,  
метрологии и испытаний в Ростовской области)

(Institute of Service and Entrepreneurship (branch) of Don State Technical University,  
State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Rostov Region)

E-mail: kolesnik\_sa@mail.ru gonch;1985@yandex.ru; brink.ivan@mail.ru

*Эффективную защиту от экстремально низких отрицательных температур активно действующему человеку, альпинисту или промышленному альпинисту обеспечивает комбинезон. Заложенный в конструкцию производителями поясной ремень, надеваемый поверх для фиксации изделия, сжимает пакет в области талии, уменьшая его толщину на 80...90%, и снижает теплозащитные характеристики комбинезона. Для исследования влияния поясного ремня на тепловую защиту человека в пуховой одежде использован метод математического моделирования процесса теплообмена человека с окружающей средой. Задача сведена к расчету тепловых потерь с идеализированного участка модели тела человека, сечение которой представлено цилиндром с коаксиальным слоем, сжатого или не сжатого поясным ремнем в средней части фигуры. Результаты показали зависимость изменения объема тепловых потерь с поверхности тела человека от толщины пакета материалов, сдавливаемого поясным ремнем, и от ширины сжатого участка.*

*Overalls provide effective protection against extremely low negative temperatures for an active person, climber or industrial climber. The waist belt put into the design by the manufacturers, put on over to fix the product, squeeze the bag in the waist area, reducing its thickness by 80-90%, and reduce the heat-shielding characteristics of the overalls. To study the effect of a waist belt on the thermal protection of a person in down-filled clothing, the method of mathematical modeling of the heat exchange process between a person and the environment was used. The problem is reduced to calculating heat losses from an idealized section of a human body*

*model, the section of which is represented by a cylinder with a coaxial layer, compressed or not compressed by a waist belt in the middle part of the figure. The results showed the dependence of the change in the volume of heat losses from the surface of the human body on the thickness of the materials squeezed package by the waist belt and on the width of the compressed section.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, тепловые потери, защита от низких температур, пуховая одежда, комбинезон, сжатие пакета материалов, толщина пакета материалов.

**Keywords:** mathematical modeling, heat loss, protection from low temperatures, down clothing, overalls, compression of a package of materials, thickness of a package of materials.

### *Введение*

Возросший научный интерес к комплексному анализу зимней одежды в общей системе материальных и духовных ценностей северных народов обусловлен не только историко-культурологическим аспектом, но и желанием перенести функционально-декоративные и конструктивные элементы в современную одежду для защиты от холода в связи с интенсивным освоением северных территорий [1]. В настоящее время известны обстоятельные исследования историко-этнографического, искусствоведческого и культурологического характера, посвященные анализу структурно-семантических и художественно-конструктивных особенностей традиционной зимней одежды северных народов с целью реконструкции комплекса средств индивидуальной защиты от холода [2]. В традиционной одежде народов Севера поясной ремень являлся функциональным конструктивно-декоративным элементом [3], [4], который обеспечивал достаточно места для хранения ценных вещей, таких как кошелек, табак и трубка, нож, что являлось необходимым ввиду отсутствия карманов. В настоящее время поясной ремень утратил свою утилитарную функцию и может присутствовать в зимней одежде как декоративный аксессуар. Р.Ф. Афанасьева [5] указывала на негативное влияние пояса, утягивающего одежду для защиты от холода в районе талии. Такой пояс снижает величину теплопереноса в пододежном пространстве конвективными потоками

воздуха, но уменьшает толщину пакета в области талии.

Эффективную защиту от низких отрицательных температур, в том числе экстремальных, активно действующему человеку, альпинисту или промышленному альпинисту, обеспечивает комбинезон. Его толщина рассчитывается с учетом оптимального распределения наполнителя по участкам тела. По сравнению с комплектом, состоящим из куртки и брюк, в комбинезоне отсутствует дублирование деталей, что положительным образом отражается на его массе, кроме того, комбинезон имеет максимально закрытую конструкцию, что обеспечивает стабильную тепловую защиту человека в любых ситуациях.



Рис. 1

На рынке представлен достаточно широкий круг комбинезонов для экстремально низких температур, которые можно подразделить на 2 типа: с поясным ремнем или кулисой (рис. 1) и без поясного ремня (рис. 2).



Рис. 2

Можно привести примеры комбинезонов фирм Сивэра "Азь Север" и БАСК "Баск Ultimate", ТЗК 14, "Звезда", прилегание в области талии которых обеспечивается за счет эластичной широкой тесьмы (рис. 1 – а, б, в) или за счет ремня, фиксирующего на талии нижнюю часть комбинезона, фирма Bergans Ehpedition Down (рис. 1 – г). Данные конструктивные элементы, заложенные в конструкцию производителями, сжимают пакет в области талии и тем самым понижают эффективность тепловой защиты. На рис. 1 места сжатия пакета выделены черными прямоугольниками.

Ряд фирм представляют для экстремально низких температур комбинезоны прямого силуэта без дополнительного жесткого прилегания в области талии (рис. 2).



Рис. 3

Red Fox Extreme, Black Yak, Marmot предлагают экспедиционные комбинезоны для высотного альпинизма из мембранной ткани, заполненные гусиным пухом, которые не имеют поясного ремня. Чтобы не зат-

руднять движения человека, возможно, нижняя часть комбинезонов снабжена внутренней системой поддержки, как это выполнено у фирмы Сивэра (рис. 3).

Комбинезон со стороны изнаночной части оснащен поясным ремнем с кулисой и бретелями, поддерживающими брюки и не позволяющими пакету изделия сползать вниз.

Индустрия для активных путешествий представляет одежду с пуховым наполнителем, который является очень легким и мягким материалом [6]. Благодаря своим физико-механическим свойствам пух заполняет весь объем пакета, и в одежде, заполненной пухом, практически отсутствует воздушная прослойка между внутренними слоями и телом человека. Поэтому пояс или эластичная тесьма, сдавливающие талию, не влияют на внутренний конвективный теплоперенос, но уменьшают термосопротивление пакета на сдавленных участках и при этом несут только конструктивную функцию – поддержать нижнюю часть комбинезона.

Цель настоящей статьи – выяснить, в какой мере поясной ремень может влиять на тепловую защиту человека.

#### Методы

Для достижения поставленной цели использован метод математического моделирования процесса теплообмена человека с окружающей средой. Данные методы широко применяются для моделирования теплообмена в системе "человек-одежда-окружающая среда" [7], [8]. В [7] представлены методики расчета процессов теплообмена и определения локальных теплофизических параметров системы "человек – тепловая защита – окружающая среда", в которых учтены возможности пассивной и активной тепловой защиты человека, а также теплофизических и геометрических свойств расчетных элементов одежды в широком диапазоне параметров окружающей среды. В [8] представлен метод оптимизационного математического моделирования, который был успешно применен авторами при проектировании одежды с пуховым наполнителем для защиты от холода. Математическое моделирование позволяет получить прог-

нозное представление параметров системы, при этом сократив большое количество дорогостоящих экспериментов. Последовательность расчета тепловой защиты человека в РФ основывается на ГОСТ Р 12.4.303–2016 [9].

В представленном исследовании разработана имитационная модель теплообмена "человек – одежда – окружающая среда", которая позволяет моделировать тепловые процессы на геометрической модели человека в области талии при надетом пояском ремне, и позволяет установить основные зависимости тепловых потерь, обусловленных шириной поясного ремня и степенью сдавленности под ним пакета одежды. Снижение тепловой защиты может происходить у человека за счет сжатия пакета в зонах прилегания поясного ремня, плотно надетого поверх комбинезона. Толщина пакета может уменьшаться в зонах прилегания ремня на 80...90%, что снижает термосопротивление сжатого участка одежды и в целом оказывает влияние на общее тепловое состояние человека.

В результате проведенного исследования мы должны ответить на следующие вопросы.

1. На какую величину возрастает поток тепла с тела человека под сдавленным участком пакета по сравнению с аналогичным несдавленным пакетом?

2. На сколько процентов увеличиваются общие тепловые потери человека в комбинезоне, сдавленном поясным ремнем по сравнению с несдавленным?

3. Какова зависимость тепловых потерь человека от ширины сдавленного участка одежды?

4. Какова зависимость тепловых потерь от толщины сдавленного участка одежды под ремнем?

Для определения сравнительных характеристик тепловой защиты одежды с несжатым и сжатым в области талии пакетом необходимо задаться величиной теплопродукции человека  $Q$ , которая будет принята за базовую, для которой рассчитывается средняя толщина одежды  $\delta$ , с учетом заданной отрицательной температуры окружаю-

щей среды  $T_b$ , и заданной средней комфортной температуры кожи человека  $T_k$ , по методике [9] (рис 4-а).

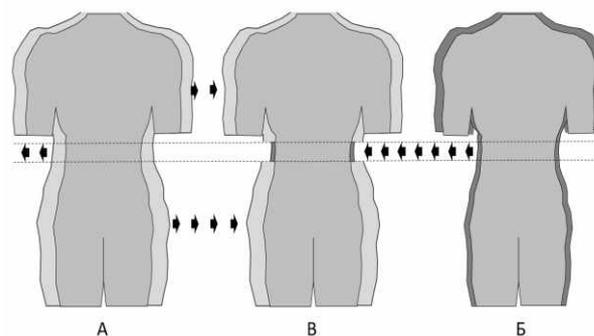


Рис. 4

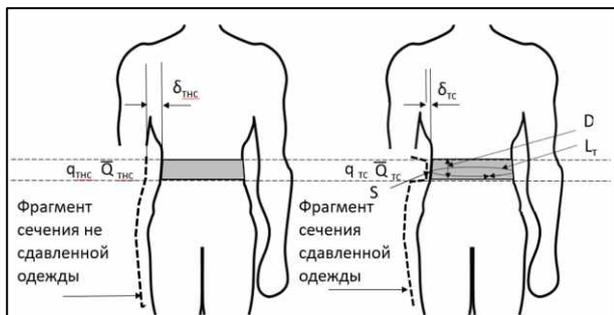
На рис. 4 показано фронтальное сечение тела человека в одежде: А – в несдавленном поясным ремнем одежде; Б – в одежде, имеющей толщину участка, сдавленного поясным ремнем участком; В – в одежде с поясным ремнем, сдавливающим участок одежды на талии.

После этого решается обратная задача, аналогично методике, изложенной в [11], определяется теплопродукция человека  $Q_c$ , необходимая для поддержания заданной температуры кожи для средней толщины одежды, равной толщине сжатого под ремнем пакета  $\delta_{сж}$ , для той же температуры окружающей среды (рис. 4-б).

Затем из двух моделей комбинируется модель 4-в, в которую входят соответствующие участки моделей 4-а и 4-б, с соответствующими долями тепловых потоков с поверхности тела человека. Затем определяется теплопродукция человека, которая будет необходима в одежде в сдавленном ремнем состоянии  $Q_{сс}$ , и будет обеспечивать среднюю заданную температуру кожи человека (рис. 4-в).

Иными словами, мы из модели тела человека А (рис. 4) вырезаем участок талии с несдавленным пакетом, вычитая долю теплопродукции, относящуюся к этому участку, и вместо него вставляем участок модели Б с толщиной сжатого пакета, соответственно с долей теплопродукции, относящейся к этому участку. Общая теплопродукция будет равна сумме теплопродукций.

При таком расчете делается допущение об аддитивности теплофизических параметров модельного представления и считается, что коэффициент теплопроводности пакета пренебрежимо мало изменяется при сжатии.



а) б)  
Рис. 5

На рис. 5 схематично представлено фронтальное сечение фигуры человека с фрагментом сечения одежды с поясным ремнем шириной  $D$ , надетым на талию с обхватом  $L_{\text{т}}$ , который сжимает пакет в области талии, уменьшая тепловую защиту тела в данной области на площади  $S$ , и детализированы переменные, которые будут использоваться при построении алгоритма расчета тепловых параметров модели тела человека в комбинезоне, сжатого и не сжатого поясным ремнем (а – не сжатой поясным ремнем; б – сжатой поясным ремнем):  $S$  – площадь участка под поясным ремнем,  $\text{м}^2$ ;  $D$  – ширина поясного ремня,  $\text{м}$ ;  $L_{\text{т}}$  – обхват участка под поясным ремнем на талии,  $\text{м}$ ;  $\delta_{\text{тнс}}$  – средняя толщина не сжатого пакета одежды на талии,  $\text{м}$ ;  $q_{\text{тнс}}$  –

удельная плотность теплового потока с поверхности тела человека в области талии в не сжатом пакете одежды,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $Q_{\text{тнс}}$  – потери тепла в не сжатом пакете одежды на талии,  $\text{Вт}$ ;  $\delta_{\text{тс}}$  – средняя толщина сжатого пакета одежды на талии,  $\text{м}$ ;  $q_{\text{тс}}$  – удельная плотность теплового потока с поверхности тела человека в области талии в сжатом пакете одежды,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $Q_{\text{тс}}$  – потери тепла в сжатом пакете одежды на талии,  $\text{Вт}$ ).

С учетом вышесказанного задача будет сводиться к расчету тепловых потерь с идеализированного участка модели тела человека, сечение которой представляется цилиндром с коаксиальным слоем, сжатого или не сжатого поясным ремнем в средней части фигур – рис. 6 (идеализированное представление фрагмента геометрической модели части тела в области талии, сжатого и не сжатого поясным ремнем).

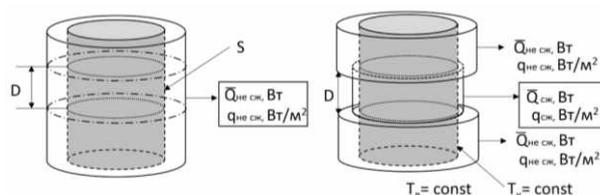


Рис. 6

В модельном представлении обхват участка под поясным ремнем на талии принят  $0,84 \text{ м}$  согласно среднему значению размера  $176-100-88$  по классификации типовых фигур мужчин по [10], что соответствует значению радиуса горизонтального сечения человека в области талии,  $r_{\text{т}} = 0,134 \text{ м}$ , в идеализированном представлении туловища человека в виде цилиндра.

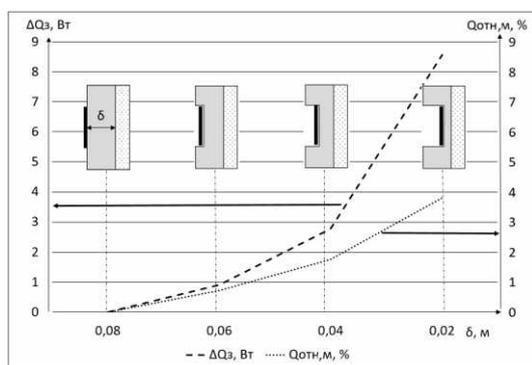


Рис. 7

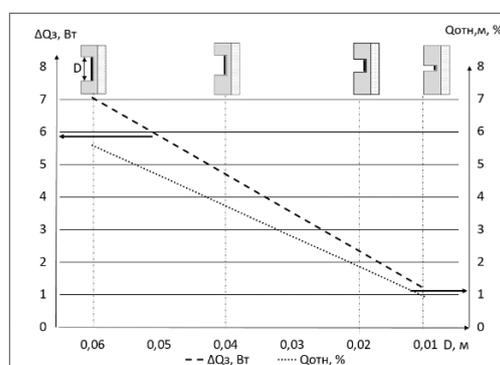


Рис. 8

Для математической модели принято следующее обобщение. В качестве объекта использован мужчина, возрастом 30 лет, с параметрами фигуры, приближенной к условно-типовой с размерами 176-100-88, занимающийся физической деятельностью с величиной общих энергозатрат, равной 200-210 Вт.

#### *Результаты и обсуждения*

На рис. 7 (абсолютное  $\Delta Q_3$ , Вт, и относительное  $\Delta Q_{отн}$ , %, изменение тепловых потерь с поверхности тела человека в зависимости от толщины пакета под поясным ремнем) и рис. 8 (абсолютное  $\Delta Q_3$ , Вт, и относительное  $\Delta Q_{отн}$ , %, изменение тепловых потерь с поверхности тела человека в зависимости от ширины поясного ремня) представлены графики, которые показывают степень увеличения теплового потока с поверхности тела человека в абсолютном (Вт) и в относительном (%) выражениях в зависимости от толщины пакета в области сжатия поясным ремнем и в зависимости от ширины поясного ремня, сдавливающего пакет.

Сила стягивания поясного ремня влечет за собой уменьшение толщины пакета материалов, расположенного под ремнем, а соответственно увеличение теплопотерь с поверхности рассматриваемого участка тела человека (рис. 7). В результате установлено, что при сдавливании пакета общие потери тепла с поверхности тела человека растут экспоненциально и могут увеличиваться по сравнению с несдавленным пакетом толщиной 0,08 м до 8-9 Вт, что соответствует увеличению общих теплопотерь на 4%.

Анализ графика, представленного на рис. 8, демонстрирует зависимость тепловых потерь от ширины сдавливающего ремня при неизменной толщине пакета под ремнем, принятой в расчетах равной 0,02 м. Согласно графику тепловые потери изменяются линейно в зависимости от ширины ремня. При ширине сдавливающего поясного ремня, равной 6 см, общие теплопотери увеличиваются на 7Вт или на 5,5%. При уменьшении ширины ремня до 1 см они увеличиваются соответственно на 1,2 Вт или 1%.

Но величина общих теплопотерь может варьироваться в условиях изменения исходных данных – величины энергозатрат (вида деятельности), пола, возраста, роста и веса объекта.

## ВЫВОДЫ

Результаты проведенного исследования показали зависимость изменения общих тепловых потерь с поверхности тела человека от толщины пакета материалов, сдавливаемого поясным ремнем, и от ширины сжатого участка. Такая зависимость позволяет прогнозировать теплозащитные свойства одежды с пуховым наполнителем при расширении ассортиментного ряда выпускаемой продукции путем применения разнообразных конструктивных вариантов и различного использования параметров аксессуаров.

Таким образом, установлено, что необходимую защиту от теплопотерь может обеспечить конструкция комбинезона с минимальным сдавливанием пакета в области талии – с разницей в толщине от 0 до 0,02м между средневзвешенной толщиной пакета и участком в области талии, а также минимально возможная ширина поясного ремня. Необходимо подбирать такие конструктивные элементы в районе талии, которые смогут обеспечить посадку комбинезона без стягивания в области талии. В этом случае целесообразно формирование конструктива пухового изделия в области талии таким образом, чтобы пата, либо локальная кулиса с эластичной тесьмой, либо поясной ремень располагались в пододежном пространстве комбинезона, не сдавливая пакет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. King J.C.H., Pauksztat B., Storrie R. Arctic Clothing of North America-Alaska, Canada, Greenland. Copyright Date: 2005 Published by: McGill-Queen's University Press. Pages: 160. Доступно по ссылке: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt9qf392>
2. Pokatilova S., Petrova Y., Andreeva A., Afanasev N. Traditions of the Yakut winter clothing, Traditions of the Yakut winter clothing. International Conference on Man-Power-Law-Governance: Interdisciplinary Approaches (MPLG-IA 2019) Atlantis Press. Доступно по ссылке: <https://doi.org/10.2991/mplg-ia-19.2019.31>

3. Tom G. Svensson. Clothing in the Arctic: A Means of Protection, a Statement of Identity. Arctic Vol. 45, No. 1 (Mar., 1992). P. 62...73. Доступно по ссылке <https://doi.org/10.14430/arctic1374>

4. Hochstrasser-Petit Ch., Romanova L., Duchesne Sylvie, Melnichuk O., Gérard P. Yakut clothes of the 17th and 18th centuries, archaeology and restitution // Vestnik arheologii, antropologii i etnografii, Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 2020 (4), pp.131 - 147. Доступно по ссылке: <http://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-51-4-12>

5. Афанасьева Р.Ф. Гигиенические основы проектирования одежды для защиты от холода. – М.: Легкая индустрия, 1977.

6. Fuller M.E. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry/ School of Design The University of Leeds Under the supervision of Dr Ningtao Mao, Dr Mark Taylor, Professor Stephen Russell. – April 2015.

7. Чичиндаев А.В., Хромова И.В. Теплообмен в системе "Человек-одежда-окружающая среда" в условиях низких температур. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018.

8. Бринк И.Ю., Богданов В.Ф., Колесник С.А. Основы проектирования тепловой защиты аутдор-снаряжения. ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты. – Новочеркасск: Лик, 2016.

9. Одежда специальная для защиты от пониженных температур: ГОСТ Р 12.4.303–2016. – [Введен в действие от 2019-07-01]. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2016. – (Межгосударственный стандарт).

10. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Фигуры мужчин типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. Технические условия: ОСТ 17-325–86. [Введен в действие от 1987-07-01]. М.: ЦНИИТЭИглегпром, 1987.

11. Баквалов Ю.А., Горбатенко Н.И., Гречихин В.В. Обратные задачи электротехники. // Изв. вузов. Электромеханика. – Новочеркасск, 2014.

## REFERENCES

1. King J.C.H., Pauksztat B., Storrie R. Arctic Clothing of North America-Alaska, Canada, Greenland. Copyright Date: 2005 Published by: McGill-Queen's University Press. Pages: 160. Dostupno po ssylke: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt9qf392>

2. Pokatilova S., Petrova Y., Andreeva A., Afanasev N. Traditions of the Yakut winter clothing, Traditions of

the Yakut winter clothing. International Conference on Man-Power-Law-Governance: Inter-disciplinary Approaches (MPLG-IA 2019) Atlantis Press. Dostupno po ssylke: <https://doi.org/10.2991/mplg-ia-19.2019.31>

3. Tom G. Svensson. Clothing in the Arctic: A Means of Protection, a Statement of Identity. Arctic Vol. 45, No. 1 (Mar., 1992). P. 62...73. Dostupno po ssylke <https://doi.org/10.14430/arctic1374>

4. Hochstrasser-Petit Ch., Romanova L., Duchesne Sylvie, Melnichuk O., Gérard P. Yakut clothes of the 17th and 18th centuries, archaeology and restitution // Vestnik arheologii, antropologii i etnografii, Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 2020 (4), pp.131 - 147. Dostupno po ssylke: <http://doi.org/10.20874/2071-0437-2020-51-4-12>

5. Afanas'eva R.F. Gigienicheskie osnovy proektirovaniya odezhdy dlya zashchity ot kholoda. – М.: Legkaya industriya, 1977.

5. Afanas'eva R.F. Hygienic principles of designing clothing for protection against the cold. – М.: Light industry, 1977.

6. Fuller M.E. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry/ School of Design The University of Leeds Under the supervision of Dr Ningtao Mao, Dr Mark Taylor, Professor Stephen Russell. – April 2015.

7. Chichindaev A.V., Khromova I.V. Heat transfer in the system "Man-clothing-environment" at low temperatures. - Novosibirsk: From NSTU, 2018.

8. Brink I.Yu., Bogdanov V.F., Kolesnik S.A. Fundamentals of designing thermal protection for outdoor equipment. ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty. - Novocherkassk: Lik, 2016.

9. Special clothing for protection against low temperatures: GOST R 12.4.303–2016. – [Effectuated on 2019-07-01]. - М.: Publishing house Standartinform, 2016. - (Interstate standard).

10. Sewing, knitted, fur products. Figures of men are typical. Dimensional signs for designing clothes. Specifications: OST 17-325-86. [Put into effect on 1987-07-01]. М.: TsNIITEIlglegprom, 1987.

11. Bakhvalov Yu.A., Gorbatenko N.I., Grechikhin V.V. Inverse problems of electrical engineering. // Izv. universities. Electromechanics. – Novocherkassk, 2014.

Статья опубликована по материалам Смартекс. Поступила 29.11.21.