

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
КОМПРЕССИОННОГО ДАВЛЕНИЯ
ПОД ЖЕНСКИМИ ПЛАТЬЯМИ СВОБОДНОЙ ФОРМЫ**

**EXPERIMENTAL BASEMENT
OF COMPRESSION PRESSURE PROGNOSIS
UNDER LOOSELY CLOTHES**

В.Е. КУЗЬМИЧЕВ, ЧЖЭ ЧЕН, МЭННА ГО, И.В. ТИСЛЕНКО
V.E. KUZMICHEV, CHGE CHEN, MENNA GO, I.V. TISLENKO

(Ивановский государственный политехнический университет,
Уханьский текстильный университет)
(Ivanovo State Polytechnical University,
Uhan Textile University)
E-mail: kshi@ivgpu.com

Проведены экспериментальные исследования систем "женская фигура-платье" по установлению показателей свойств текстильных материалов, влияющих на возникновение компрессионного давления под одеждой. Показана и доказана целесообразность использования прибора KES-FB-1 для измерения усилия растяжения. Подтверждено существование устойчивых зависимостей между усилиями растяжения, действующими в текстильных оболочках, и возникающим под оболочками компрессионном давлением. Получены математические уравнения для прогнозирования компрессионного давления на мягкие ткани фигур.

The exploration of real systems "women body-dress" have been done to establish the schedule of textile materials properties that are influencing on a compression pressure under clothes. The way of curve "force-tensile" obtaining by KES-FB-1 for the compression prognosis under clothes have been shown and proved. Stable relations are existing between the forces in textile materials tensioned and the pressure compression under the clothes. The equations for the prognosis of compression pressure were obtained.

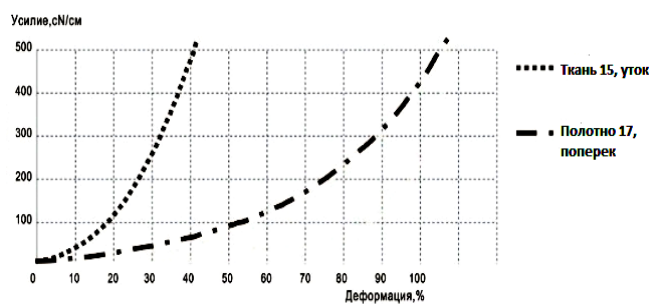
Ключевые слова: одежда, форма, Кавабата, конструктивная прибавка, растяжение, компрессионное давление, прогнозирование.

Keywords: clothes, shape, KES-F, pattern block' ease, tension, compression, prognosis.

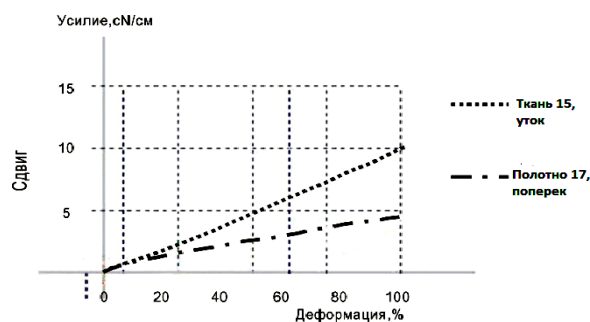
Попытки прогнозирования показателей проектируемой системы "фигура-одежда", в частности, формы одежды или ее способности повторять пластику человеческого тела, предпринимаются давно. Наиболее часто используемыми для прогнозирования формы одежды, даже в последнее время, являются единичные (реже комплексные) показатели свойств текстильных материалов: драпируемость, жест-

кость при изгибе, растяжимость [1], [2]. Для измерения этих показателей предлагают разные методики и приборы, а полученные результаты находят применение в современных САПР для виртуального формообразования одежды [3...5]. Однако несовершенство существующей номенклатуры показателей признано во многих исследованиях.

Наиболее распространенным измерительным комплексом для испытаний тканей и трикотажных полотен является Kawabata Evaluation System for Fabrics (KES-F) (Япония), который с 1983 г. используется для конфекционирования и изучения текстильных материалов, совершенствования технологических процессов с их участием, когда необходимо проследить влияние режимов обработки на изменение показателей механических свойств и состояния поверхности и, самое главное, для прогнозирования поведения реальной одежды [6]. Базовыми для этого комплекса являются одноцикловые характеристики растяжения, сдвига, изгиба, трения и компрессионного сжатия, то есть фундаментальные деформации материалов, достаточные для описания большинства возможных ситуаций в реальной системе "человек – одежда". Показатели механических свойств материалов очень важны с позиций нагрузок, прикладываемых к ним в процессах изготовления и эксплуатации одежды, поскольку видимые изменения являются результатом действия внешних сил гравитации и взаимодействия с фигурой в статическом положении и при выполнении движений. Достоинствами этих показателей являются:



а)



б)

Рис. 1

Как видно из рис.1, кривые "усилие - растяжение" для тканей и трикотажных полотен имеют два линейных участка – в начале и конце, а диаграмма "усилие - сдвиг" является линейной на всей длине. Закономерности возрастания усилий, которые необходимо приложить для удлинения материалов и сдвига элементов его

1) воспроизведение в большинстве тестовых процессов тех условий, которые реально могут возникнуть при эксплуатации одежды и которые можно воспроизвести при ручных манипуляциях [7];

2) возможность построения из единичных показателей систем квалиметрии для конфекционирования материалов по видам одежды [8].

Однако применение результатов KES-F связано с определенными трудностями их использования для моделирования процессов в одежде. Например, из одного и того же материала могут быть изготовлены две модели T-shirt свободной и плотнооблегающей форм (например, с положительными и отрицательными значениями одноименных конструктивных прибавок), которые при эксплуатации могут испытывать разные по величине деформации растяжения и сдвига; однако набор и значения показателей свойств исходных материалов будут одними и теми же. В качестве примера приведены кривые растяжения и сдвига для двух материалов, используемых для изготовления женских платьев (рис. 1 – типичные кривые растяжения (а) и сдвига (б) материалов для женских платьев (ткань 15 и трикотажное полотно 17)).

структуры – петельных рядов и столбиков или нитей основы и утка, отражают различия между ними и разные стартовые условия для развития деформационных процессов. Для сравнения напряженного состояния материалов в этих процессах можно принять в качестве критерия величину усилия, необходимого для деформи-

рования проб, например, на 20%: для растяжения необходимы усилия 23...110 сН/см, а для сдвига – на один и даже два порядка меньше 1,9...2,2 сН/см. Поэтому можно предположить о существовании внутри оболочек, покрывающих участки фигур, конкурирующих процессов растяжения и сдвига, на результативность которых будут оказывать влияние величины конструктивных прибавок, пластика и упругость мягких тканей фигуры.

Очевидно, что для моделирования процессов в реальной текстильной оболочке необходимо учитывать малые по величине нагрузки, которые не входят в условия испытаний KES-F. Если условия эксплуатации одежды невоспроизводимы при тестировании материалов на KES-F, то затрудняется объективная оценка вклада стандартизированных показателей в процессы, протекающие внутри системы "фигура-одежда". Поэтому выбор и обоснование номенклатуры показателей, измеряемых на KES-F, до сих пор являются актуальными для совершенствования проектирования одежды и расширения возможностей этих приборов.

Нами предложены дополнительные показатели материалов, измеряемые при растяжении на приборе KES-FB-1, которые соответствуют схемам их деформирования в одежде и позволяют моделировать процессы компрессионного сжатия мягких тканей тела текстильными оболочками. Компрессионное сжатие выбрано в качестве результирующего показателя функционирования систем "фигура-одежда" потому, что оно имеет место практически в любых видах одежды в статике и динамике. Кроме того, для теоретического обоснования и расчета возникающих напряжений, деформаций и компрессионного давления в системе "фигура-одежда", материалы представляют в виде сети конечных элементов. Для обоснования методов и способов расчета давления материала необходимы данные о его деформации, которые к настоящему времени разработаны в [9], [10]. Визуализация физических параметров деформации материала и оказываемого им давления развивается в

трехмерном компьютерном программировании [4], [5], [10]. Вместе с тем остается актуальной экспериментальная проверка теоретических моделей одевания участков фигур текстильными оболочками.

Предложенный нами алгоритм выбора адаптированных показателей и их использования для описания реальных процессов в одежде включает следующие шаги (возможно изменение последовательности шагов и их содержания в зависимости от объема имеющейся информации):

1) экспериментальное исследование систем "фигура-одежда" для установления следующих параметров: условий деформирования текстильной оболочки (например, направления действия и величин усилий, величин растяжения материала L , углов перекоса между основой и утком и др.); компрессионного давления P , оказываемого текстильной оболочкой на мягкие ткани тела при их плотном контакте; эффекта смещения мягких тканей под влиянием оболочки (push-up). Плотный контакт и растяжение материала оболочки являются результатом действия следующих факторов: в одежде свободной формы – после выполнения некоторых движений и динамических изменений длин участков тела, при которых становится невозможным перемещение одежды по поверхности фигуры и вследствие этого возрастает компрессионное давление под одеждой; в малообъемной одежде – из-за запроектированных отрицательных конструктивных прибавок к длинам участков фигуры;

2) экспериментальные исследования текстильных материалов на приборе KES-FB-1 и нахождение по диаграммам "усилие-растяжение" величин усилий F , необходимых для таких растяжений текстильных материалов, которые могут действовать в реальных системах "фигура-одежда" L ;

3) разработка математических моделей для прогнозирования компрессионного давления текстильных оболочек на мягкие ткани тела или эффектов коррекции мягких тканей в виде

$$P = f(F, L), \quad \Delta K = f(F, L), \quad (1)$$

где Р, ЭК – соответственно компрессионное давление текстильной оболочки или эффект коррекции мягких тканей тела в виде их целенаправленного смещения, измеренные в системе "фигура-одежда", кПа или см; F, L – соответственно усилие растяжения и удлинение текстильного материала, измеренные на приборе KES-FB-1, сН/см или %.

Ниже рассмотрено применение алгоритма для прогнозирования компрессионного давления в системах "женская фигура-платье".

В качестве объектов исследований были взяты женские платья, изготовленные из разных материалов и имеющие положительные величины конструктивных прибавок к обхватам груди (1,8...9,8 см), талии (1,8... 5,8 см) и бедер (2,3...10,3 см). При указанных величинах конструктивных прибавок модели платьев имели одинаковую структуру: базовый покрой, одинаковое распределение талиевых вытачек, полуприлегающий силуэт, короткий рукав.

В качестве материалов для платьев выбраны ткани (M15, M16) и трикотажное полотно (M17). Материалы для исследований были выбраны такими, чтобы их основные характеристики структуры и показатели одноосного растяжения представляли возможный диапазон значений, принятый для платьев сезона "весна-лето". Основные характеристики структуры приведены в табл. 1.

Основные характеристики структуры приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№	Характеристика	Значение для материала		
		M15	M16	M17
1	Вид материала	ткань отбеленная	ткань набивная	трикотажное полотно
2	Поверхностная плотность, г/см ²	88	92	165
3	Переплетение	полотняное	полотняное	ластик
4	Волокнистый состав, %	хлопок 100	хлопок 100	ПЭФ 85, хлопок 15

На первом этапе материалы исследованы на приборе KES-FB-1. Для испытания использовали пробы размером 20×20 см в количестве по 5 штук вдоль основы (вдоль полотна) и утка (вдоль полотна). Испытания проводили при следующих условиях одноциклового растяжения: зажимная ширина 20 см, зажимная длина 5 см, скорость растяжения 0,2 мм/с, максимальное усилие 500 сН/см. Перед испытанием пробы выдерживали в нормальных условиях не менее 24 часов. Все показатели, относящиеся к процессам растяжения и релаксации, рассчитывались автоматически. Определяли базовые стандартизированные показатели (табл.2):

1) относящихся к растяжению пробы:

LT – линейность кривой "усилие-растяжение", равная отношению площади под кривой к общей площади прямоугольного треугольника со сторонами, равными наибольшей нагрузке и наибольшему удлинению;

WT – энергия (работа) растяжения, равная площади диаграммы под кривой растяжения, сН·см/см²;

EMT – относительная деформация удлинения под нагрузкой 500 сН, %.

2) относящихся к релаксации растянутой пробы:

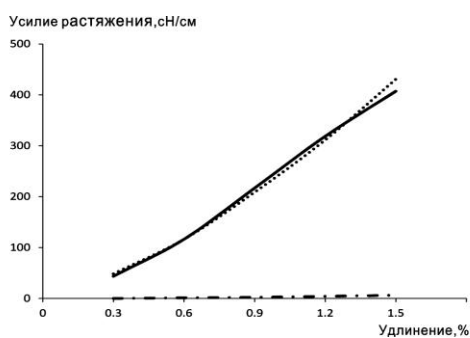
RT – доля упругой деформации, равная отношению площади диаграммы под кривой релаксации к работе растяжения, %.

Для сравнения особенностей растяжения, выбора интервалов удлинения и необходимых для этого усилий были совмещены кривые растяжения всех материалов. Максимальное удлинение материалов было выбрано таким образом, чтобы оно не превышало максимального динамического приращения к размерным признакам женской фигуры (ширинам, обхватам, длинам, дугам) при совершении движений, характерных для повседневной жизни (наклон туловища вперед, сведение рук спереди и сзади и др.).

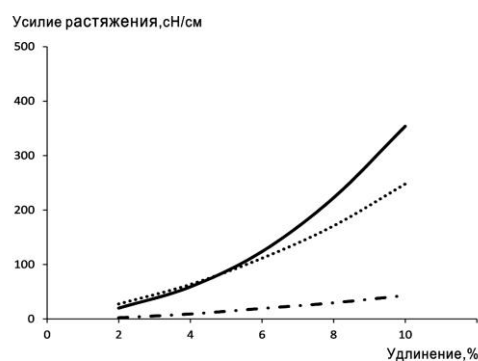
№	Показатель	Основа или вдоль полотна (о)/уток или поперек полотна (у)	Среднее значение показателя для материалов			Коэффициент вариации $C = (\min - \max) / \bar{A}_v$
			ткань М15	ткань М16	трикотажное полотно М17	
1. Базовые показатели						
1	LT	о	0,823	0,82	0,611	0,28
2		у	0,674	0,714	0,567	0,23
3	WT	о	3,7	3,49	24,663	2
4		у	20,3	25,85	43,525	0,78
5	RT	о	57,782	60,3	45,55	0,27
6		у	21,088	22,976	43,858	0,78
7	EMT	о	1,782	1,704	16,148	2,21
8		у	12,062	14,464	30,743	0,98
2. Адаптированные показатели						
Усилие растяжения F(L), сН/см, необходимое для удлинения пробы на величину L						
9	F(0,3)	о	43,5	48,3	0	1,58
10		у	0	2,4	0	1
11	F(0,6)	о	116,2	116,2	1,2	1,48
12		у	2,1	6,5	0	2,26
11	F(0,9)	о	216,8	208,6	2,2	1,24
13		у	4,6	10,8	0	2,11
12	F(1,2)	о	318,5	311,3	4,2	1,49
14		у	8,8	13,5	0,8	1,65
14	F(1,5)	о	407,1	430,7	6,3	2,52
15		у	12,4	19,2	1,3	1,63
16	F(2)	у	19,8	27,2	2	1,54
17	F(4)	у	58,8	63,3	9	43,7
18	F(6)	у	123,6	111,3	19,2	1,23
19	F(8)	у	222,3	170,8	29,5	1,37
20	F(10)	у	353,7	247,7	43	1,45

Полученные общие интервалы по основе (0,3...1,5 % при значениях $EMT_o = 1,704...16,148$ %) и утку (2...10% при значениях $EMT_y = 12,062...30,743$ %) были разбиты на пять участков и на каждом

участке определено усилие растяжения (рис. 2 – совмещенные кривые "усилие растяжения-удлинение" по основе (а) и утку (б) для исследованных материалов).



а)



б)

Рис. 2

Значения усилий растяжения приведены в табл. 2 – как дополнительные адаптированные показатели. Коэффициенты вариации для адаптированных показателей значительно выше, чем для стандартизированных, что свидетельствует о большей изменчивости первых.

На втором этапе было измерено давление под платьями в 13 антропометрических точках фигуры во время выполнения разных движений, сопровождавшихся растяжением материалов и появлением компрессионного давления под ними [11]. Интервал значений давления, измеренного с

помощью датчика FlexiForce, составил 0,12...1,2 кПа. Компрессионное давление измеряли на разных антропометрических и конструктивных уровнях (обхвата груди третьего, обхвата талии, линии сочленения руки с туловищем, низа рукава и др.) параллельно в нескольких антропометрических точках в шести разных позах (наклон

в сторону, наклон вперед, подъем рук, отведение рук назад, выход из автомобиля, подъем по лестнице). Для испытаний были выбраны пять женских фигур с близкими размерными признаками, см: $P = 160$, $O_{г3} = 84$, $O_{т} = 64$, $O_{б} = 90$. Результаты измерения давления приведены в табл. 3 (значения компрессионного давления).

Таблица 3

Антропометрическая точка	Среднее значение давления P, Па, вычисленное в шести позах и для пяти систем "фигура-платье" для разных материалов		
	M15	M16	M17
Передний угол подмышечной впадины	669,4	612,4	427,6
Задний угол подмышечной впадины	898,8	780,2	616,8
Выступающая точка грудных желез	210,8	177,3	120
Точка в подмышечной впадине	1197,7	1033	788,6
Точка ниже лопаточной точки на уровне обхвата груди третьего	851,9	500,8	338
Точка спереди на уровне талии	495,3	450,4	339,1
Точка сбоку на уровне талии	465,7	419,3	276,8
Точка сзади на уровне талии	452,7	406	232,2
Выступающая точка ягодиц	417,8	340,3	205,4
Плечевая точка	548,6	498,4	393,6
Точка по низу рукава спереди	367,2	348,1	287,6
Точка по низу рукава сбоку	596,5	565,1	458,5
Точка по низу рукава сзади	148	132,3	113,2
Среднее арифметическое значение	563,1	481,8	353,6

Примечание. Объем выборки - 25.

На третьем этапе был проведен корреляционный анализ между показателями свойств материалов из табл. 2 и компрессионным давлением, измеренным под платьями из этих же материалов. Коэффици-

енты парной корреляции между показателями растяжения материалов и компрессионным давлением платьев на мягкие ткани приведены в табл. 4.

Таблица 4

Группа показателей	Показатель	Коэффициенты парной корреляции	
		основа (вдоль полотна)	уголок (поперек полотна)
Базовые	LT	0,9198	0,7763
	WT	-0,9113	-0,983
	EMT	-0,913	-0,9561
	RT	0,8387	-0,9424
Адаптированные	F(0,3)	0,8747	0
	F(0,6)	0,9149	0,4169
	F(0,9)	0,928	0,5194
	F(1,2)	0,9228	0,7036
	F(1,5)	0,8938	0,6957
	F(2)	-	0,7574
	F(4)	-	0,8822
	F(6)	-	0,953
	F(8)	-	0,988
	F(10)	-	0,9973

Примечание. Критическое значение коэффициента корреляции составляет 0,950 для доверительной вероятности 95% и $n = 3$.

Видно, что самая тесная связь компрессионного давления существует со следующими показателями, которые по сниже-

$$[F(10)_y - F(8)_y - WT_y - EMT_y - F(6)_y] - [F(0,9)_o - F(1,2)_o - LT_o - F(0,6)_o - EMT_o - WT_o].$$

Тесные связи существуют с адаптированными показателями, измеренными при растяжении на 10%. Меньшие значения усилий растяжения оказывают не столь выраженное влияние на компрессионное давление. Базовые показатели EMT, измеренные под нагрузкой 500 сН, не имеют таких тесных связей с компрессионным давлением, как адаптированные. Модель с наивысшей адекватностью для прогнозирования компрессионного давления платьев на фигуру имеет вид:

$$P = 0,0008 F(10)_y + 0,33, \quad (2)$$

где P – компрессионное давление под напряженной текстильной оболочкой, кПа; $F(10)_y$ – усилие, необходимое для растяжения текстильного материала по утку (поперек полотна) на 10%, сН/см.

Полученная зависимость предназначена для прогнозирования давления в системе "женская фигура – платье полуприлегающего силуэта" на этапе конфекционирования материалов и его симуляции в системах виртуальной примерки.

Таким образом, показана эффективность применения нового показателя – усилия растяжения материалов, равного $214,7 \pm 91,0$ сН/см и необходимого для их удлинения на 8...10% – для прогнозирования компрессионного давления платьев на мягкие ткани тела.

ВЫВОДЫ

1. Показана и доказана возможность измерения малых усилий растяжения текстильных материалов на приборе KES-FB-1.

2. Подтверждено существование устойчивых зависимостей между усилиями растяжения, действующими в текстильных оболочках, и возникающим под оболочками при компрессионном давлении. Получены математические уравнения для про-

гнозирования компрессионного давления одежды свободной формы на мягкие ткани тела. Установлено, что условиями для наиболее точного прогнозирования компрессионного давления являются: усилие растяжения $214,7 \pm 91$ сН/см и растяжение на 8...10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чагина Л.Л. и др. Разработка методики конструирования льняных трикотажных изделий и ее реализация в системе T-FLEX CAD // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 4.
2. Кочанова Н.М. и др. Разработка математического аппарата для конструктивного моделирования чертежей в соответствии с желаемой формой втачных рукавов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 6.
3. САПР "Гербер" // <http://www.gerber-technology.com>
4. САПР "Оптитекс", <http://www.optitex.com>
5. САПР "Лектра", <http://www.lectra.com>
6. <http://english.keskato.co.jp/products>
7. Niwa M., Kawabata S., Ishizuka K. Recent Developments in Research Correlating Basic Fabric Mechanical Properties and the Appearance of Men's Suits. Objective Evaluation of Apparel Fabrics: edited by R.Postle, S. Kawabata, M. Niwa. – The Textile Machinery Society of Japan, Osaka, 1983. P. 67...82.
8. Harwood R.J., Weedall P.J., Carr C. The use of the Kawabata Evaluation System for product development and quality control // Coloration: The demands of the 90's held at the University of Leeds. 14-16 September 1988.
9. Seo H, Kim SJ, Cordier F, Hong K. Validating a cloth simulator for measuring tight-fit clothing pressure. In: Bruno L, Dinesh M, editors. Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Solid and Physical Modeling, Tsinghua University, Beijing, June 04–06, 2007.
10. Analysis of Clothing Pressure on the Human Body. Takaya Kobayashi, Shuya Oi, Masami Sato. 2011 SIMULIA Customer Conference.
11. Guo M. Pressure and comfort perception in the system "female body-dress" // AUTEX Research Journal, 2013, September, vol. 13, №. 3, P. 71...78.

REFERENCES

1. Chagina L.L. i dr. Razrabotka metodiki konstruirovaniya l'njanyh trikotazhnyh izdelij i ee realizaci-

ja v sisteme T-FLEX CAD// Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2012, № 4.

2. Kochanova N.M. i dr. Razrabotka matematicheskogo apparata dlja konstruktivnogo modelirovanija chertezhej v sootvetstvii s zhelaemoj formoj vtachnyh rukavov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2012, №6.

3. SAPR "Gerber" // <http://www.gerber-technology.com>

4. SAPR "Optiteks", <http://www.optitex.com>

5. SAPR "Lektra", <http://www.lectra.com>

6. <http://english.keskato.co.jp/products>

7. Niwa M., Kawabata S., Ishizuka K. Recent Developments in Research Correlating Basic Fabric Mechanical Properties and the Appearance of Men's Suits. Objective Evaluation of Apparel Fabrics: edited by R.Postle, S. Kawabata, M. Niwa. – The Textile Machinery Society of Japan, Osaka, 1983. P.67...82.

8. Harwood R.J., Weedall P.J., Carr C. The use of the Kawabata Evaluation System for product development and quality control // Coloration: The demands of the 90's held at the University of Leeds. 14-16 September 1988.

9. Seo H, Kim SJ, Cordier F, Hong K. Validating a cloth simulator for measuring tightfit clothing pressure. In: Bruno L, Dinesh M, editors. Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Solid and Physical Modeling, Tsinghua University, Beijing, June 04–06, 2007.

10. Analysis of Clothing Pressure on the Human Body. Takaya Kobayashi, Shuya Oi, Masami Sato. 2011 SIMULIA Customer Conference.

11. Guo M. Pressure and comfort perception in the system "female body-dress" // AUTEX Research Journal, 2013, September, vol. 13, №. 3, R. 71...78.

Рекомендована кафедрой конструирования швейной одежды. Поступила 10.06.15.
