

**АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОСТЮМА
ДЛЯ ПОДВОДНОГО ПЛАВАНИЯ***

ALGORITHM OF DIVING SUIT DESIGN

СИНЬЧЖОУ У, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ

XINZHOU WU, V.E.KUZMICHEV

**(Уханьский текстильный университет, Китай,
Ивановский государственный политехнический университет)**

**(Wuhan Textile University, China,
Ivanovo State Polytechnical University)**

E-mail: xinzhouwu@qq.com, wkd37@list.ru

Поскольку существующие направления исследования костюмов для подводного плавания имеют много ограничений, то направление нашего исследования базируется на комплексном изучении морфологии человеческого тела, показателей свойств материалов и чертежей конструкции. После измерения размерных признаков фигур в динамике под водой, тестирования материалов и измерения давления под материалами на различные участки фигур мы оптимизировали классификацию фигур, конструктивные прибавки и усовершенствовали чертеж конструкции костюма. Путем использования 2D- и 3D-технологий мы разработали чертеж модельной конструкции и виртуальную систему "аватар - костюм" для проверки конструкции гидрокостюма.

The current researches on diving suits have many limitations, but our research is a comprehensive system based on human bodies morphology, material properties and making of pattern blocks. By measuring the dynamic sizes of human bodies under water, testing the materials properties, and collecting the data of compression pressure under elongated materials on different human body parts, we optimized the classification of body sizing system, dynamic ease, and obtained the developed pattern. By using 2D- and 3D-simulation technologies, we drawn 2D-pattern block and created the virtual system "avatar – diving suit" to check design of wetsuit.

* Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках Партнерской программы Юбера Кюрьена - А.Н. Колмогорова с участием научно-исследовательских организаций и университетов Франции (уникальный идентификатор проекта: RFMEFI61619X0113).

Ключевые слова: костюм для подводного плавания, динамические позы, конструктивная прибавка, чертеж, виртуальная примерка.

Keywords: wetsuit, dynamic postures, ease, pattern block, virtual try-on.

Дайвинг, как вид активного отдыха, становится все более распространенным в мире, и спрос на гидрокостюмы со стороны любителей дайвинга постепенно увеличивается. Однако качество и эксплуатационные характеристики гидрокостюмов требуют значительного улучшения по целому ряду причин.

Первая причина состоит в необходимости совершенствования антропометрической базы данных. В результате акселерационных процессов изменяются морфология и размерные характеристики фигур, что требует поиска новых идей и подходов к построению типологии и повышения удовлетворенности пользователей. Существующие антропометрические стандарты основаны на традиционных или новых измерениях, полученных с помощью 3D-сканеров, которые используют для построения чертежей конструкций для разных групп потребителей. Фактически традиционные методы могут просто удовлетворять требованиям к стандартным торсам, но требуют серьезной адаптации к особенностям нетиповых фигур. Например, различия в пластике между передней и задней частями тела отражают реальную морфологию фигур, а разность между двумя аналогичными измерениями спереди и сзади может быть более 4 см [1]. Такие различия не учитывают, например, японские или китайские методы конструирования плечевой одежды при построении чертежей стана и его разделении между спинкой и передом [2].

Вторая причина обусловлена условиями эксплуатации костюмов для подводного плавания. Люди в этих костюмах могут находиться в различных позах, испытывать гидростатическое давление, в результате чего мягкие ткани тела деформируются [3], [4], что влияет на способность воды перемещаться между кожей и костюмом во время ныряния [5]. Очевидно, что при проектировании таких костюмов необходимо учитывать возможную деформацию мягких тканей, а

динамические изменения размерных признаков необходимо предусматривать в конструкции для достижения высоких критериев функциональности, защиты и подвижности одежды за счет рациональных прибавок. Изменение размерных признаков в динамических положениях происходит по сложной схеме, которая должна учитывать морфологические параметры тела [6]. Игнорирование этой причины вызывает дискомфорт при нырянии.

Третьей причиной является правильный выбор величин компрессионного сжатия мягких тканей спортсменов разной этнической принадлежности. В частности, для китайских фигур такая база данных еще не сформирована. Исследования женских гидрокостюмов проводились крайне редко, поэтому теоретические и практические научные основы слабы. Эмпирические значения обычно используются в дизайне, и менее теоретический анализ не способствует улучшению инновационной структуры гидрокостюмов. Для того, чтобы спроектировать хорошо сидящий гидрокостюм и защитить организм человека, необходимо оптимизировать параметры существующих базовых конструкций при рациональных значениях конструктивных прибавок [7].

Таким образом, для совершенствования процесса проектирования гидрокостюма необходимо создать новые базы антропометрической информации для построения чертежа с учетом статического и динамического соответствия; выявить соотношения между конструктивными прибавками; установить приемлемые диапазоны давлений и влияния показателей свойств.

Целью нашего исследования является улучшение конструкции гидрокостюма. Рис. 1 показывает основные этапы разрабатываемого процесса проектирования гидрокостюма на основе формирования новых баз данных, относящихся к фигурам, материалам и конструкции, использования цифровых двойников (обозначенными как *new*) дополни-

тельно к существующим (old). На рис. 1 сокращение ПиР обозначает экспериментальный процесс измерения давления на поверхности тела под растянутыми материалами в различных динамических позах в

воздушной и водной средах. Блоки алгоритма показывают нынешнее состояние проводимого исследования: белый цвет использован для обозначения новых этапов, серый – для существующих.

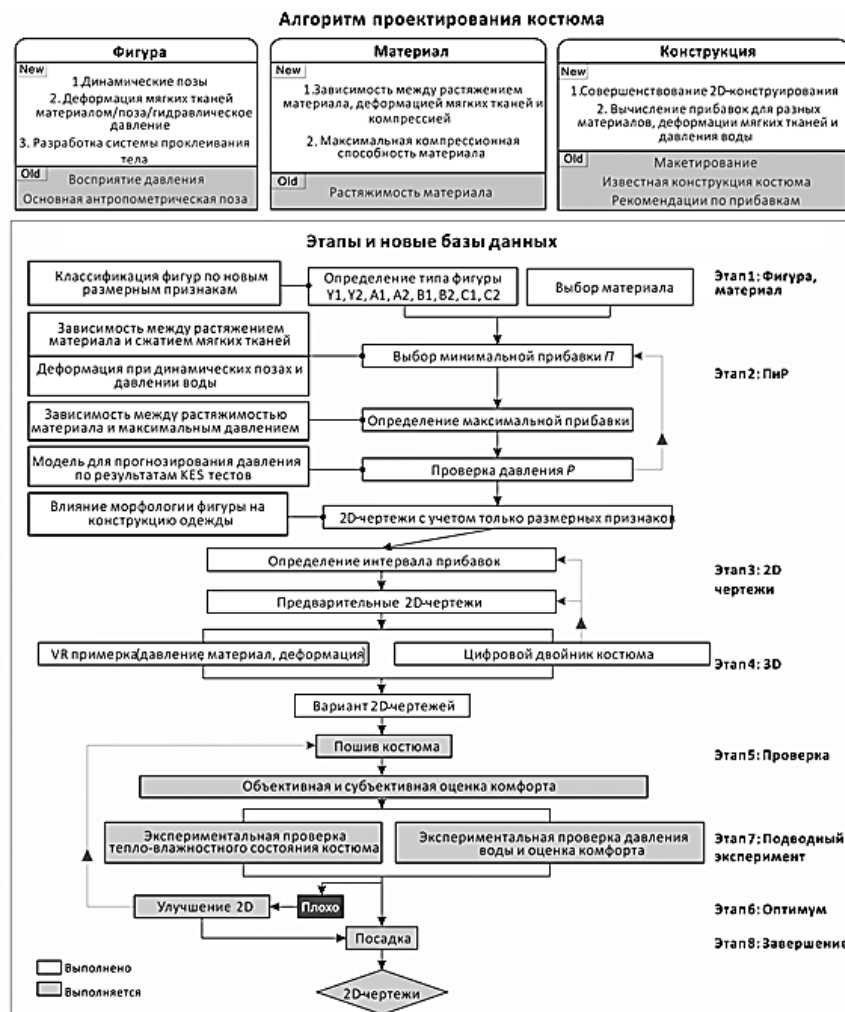


Рис. 1

На первом этапе нами была разработана новая антропометрическая базы данных после проведения исследований женских фигур в статике и динамике. Мы создали новую классификацию торсов женских фигур в статике для того, чтобы согласовать конструктивные параметры чертежей гидрокостюмов и новые размерные признаки. Новые размерные признаки были получены из значений обхватов груди, талии и бедер и разделены между передней и задней частями фигуры с помощью специальной программы 3D-бодисканирования [8]. Для более точного описания морфологии фигур мы разделили полуобхваты груди $C_{Г3}$, талии C_T

и бедер C_6 на передние ($C_{Г3п}$, $C_{Тп}$, $C_{6п}$) и задние $C_{Г3з}$, $C_{Тз}$, $C_{6з}$) части и после статистической обработки результатов антропометрических измерений мы установили, что разность $C_{Г3п}$ и $C_{Г3з}$ является самой значимой. На основании этого мы классифицировали женские фигуры по соотношениям между передними и задними частями обхватов, чтобы точнее строить чертежи конструкций спинки и переда. На основе существующей китайской классификации женских фигур Y , A , B , C [9] мы создали 8 новых подтипов $Y1$, $Y2$, $A1$, $A2$, $B1$, $B2$, $C1$ и $C2$, которые отражают морфологию торсов по распределению полуобхвата груди третьего между пе-

редней ($C_{r3п}$) и задней ($C_{r3з}$) частями. Выделенные подтипы имеют следующие соотношения: для Y1, A1, B1, C1 ($C_{r3п} < C_{r3з}$), для Y2, A2, B2, C2 ($C_{r3п} > C_{r3з}$), что позволяет правильно рассчитать ширины деталей и обеспечить соразмерность гидрокостюмов и фигур в статике.

Далее были проведены исследования женских фигур в динамике. Необходимость такого исследования обусловлена наличием ограниченной динамической информации, относящейся только к базовым антропометрическим позам [10], [11]. Поскольку дайверы чаще плавают в горизонтальном положении, то наше исследование было сфокусировано на изменениях обхватов в соответствующих динамических позах под водой.

В нашем эксперименте мы измеряли 31 размерный признак для 57 женских фигур всех четырех типов (возраст 22...25 лет) при изменении типичных поз дайверов. Испытуемые дайверы принимали позы – стоя и лежа на полу, а также под водой. Мы использовали следующие аббревиатуры для обозначения поз:

- P1 – основная антропометрическая поза (естественное вертикальное положение),
- P2 – положение стоя, руки подняты вверх,
- P3 – положение лежа на полу, лицом вниз, руки вытянуты вперед,
- P4 – положение лежа на полу, лицом вниз, руки вытянуты вперед, ноги согнуты на 90°;

P5 – так же, как и P3, но под водой;

P6 – так же, как и P4, но под водой.

Фигуры фотографировали во всех перечисленных позах. Для измерения изменений мы последовательно совмещали абрисы фигуры во фронтальной и профильной проекциях P2 + P1, P3 + P1, P4 + P1, P5 + P1, P6 + P1. На рис. 2 показаны значения различий между обхватами груди BG, талии WG, бедер HG, бедра TG и условной длиной боковой линии SL для фигур типа А.

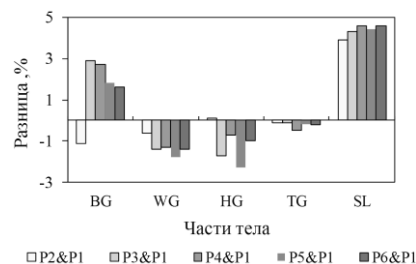


Рис. 2

Максимальная разница имела место для измерений BG, WG, HG, TG и SL между позами P5+P1. При поднятии рук линия обхвата груди движется вверх, боковой шов смещается вперед, выпуклости живота и бедер смещаются. Максимальные значения полученных результатов будут использованы при построении чертежей.

Таблица 1

Композиционный материал	Химический состав		Показатели свойств, измеренные на комплексе KAWABATA			Класс материала
	липевой слой/изнаночный слой (уточновязанный трикотаж)	внутренний слой толщиной 2,5 мм, %	гистерезис момента изгиба 2НВ. сН·см/см, основа/уток	полная деформация удлинения ЕМТ под стандартной нагрузкой 500 сН/см. %, основа/уток	толщина ткани. мм: в числителе Тм под нагрузкой 50 сН/см ² . в знаменателе Т ₀ – под нагрузкой 0,5 сН/см ²	
M1	Нейлон/нейлон	100% CR	-0,63/-0,58	42,6/22,5	2,66/2,87	Высокий
M2	Полиэстер/полиэстер	SCR (30% CR + 70% SBR)	-0,64/-0,68	30,0/26,0	2,85/3,19	Средний
M3	Полиэстер/полиэстер	SBR	-0,68/-0,47	27,8/11,7	2,73/2,94	Низкий
M4	Нейлон/нейлон	SCR (30% CR + 70% SBR)	-0,71/-0,64	30,6/25,0	3,08/3,35	Средний

Примечание. 1. Гистерезис момента изгиба показывает способность пробы материала возвращаться в исходное положение (чем больше абсолютная величина, тем хуже выражена эта способность). 2. Буквенные обозначения для обозначения качества внутреннего слоя: CR (chloroprene-rubber, хлоропеновый каучук, торговая марка Neoprene) – каучук высокого уровня качества (мягкий, хорошие термозащитные свойства, эластичный); SBR (styrene-butadiene rubber, бутадиен-стирольный каучук) – каучук низкого уровня качества; SCR (styrene-chloroprene rubber, хлоропеновый каучук) – каучук спелого уровня качества, получаемый путем смешивания CR и SBR (удовлетворительная гибкостью, эластичность и показатели комфорта в зависимости от содержания CR).

На втором этапе мы испытывали и анализировали показатели свойств композиционных материалов для гидрокостюмов с помощью комплекса KES для выбора тех показателей, критические значения которых влияют на давление под гидрокостюмом (давление измеряли с помощью датчика АМІ, Япония) и величины конструктивных прибавок. В качестве материалов были выбраны трехслойные композиционные материалы с характеристиками, представленными в табл. 1.

После погружения дайвер испытывает давление под влиянием костюма, сконструированного с отрицательными прибавками, и воды. Поэтому установление допустимого давления требует учета обоих факторов.

Сначала после проведения экспериментов нами получены уравнения для описания соотношений между удлинением материалов, деформацией мягких тканей тела и достигаемым максимальным давлением. Мы измеряли уменьшения обхватов торса на 11 уровнях (количество измерений составило 15) с вычленением их долей спереди, сбоку и сзади. Мы испытывали четыре вида материалов в направлениях основы и утка для того, чтобы определить максимальное удлинение E_M и максимально возможное давление P в каждом случае. Удлинение E_M составило от 13,1 до 18,2% и его можно рассматривать как значения конструктивной прибавки в гидрокостюме.

Затем для имитации максимального гидравлического давления мы измерили давление, возникающее после удлинения контрольного неэластичного материала для максимального уменьшения обхватов фигур по описанной выше схеме. Установлено, что при среднем удлинении материалов 15,7% можно достигнуть максимального уменьшения значений обхватов тела ΔG 12,5% и среднего значения давления 2,05 кПа. Рис. 3 показывает максимальное удлинение материалов и оказываемое ими давление.

Однако максимальные значения трех факторов могут ограничить возможности драйвера совершать движения, поэтому необходимо согласовать минимальные значения отрицательных конструктивных прибавок с динамическими изменениям фигур.

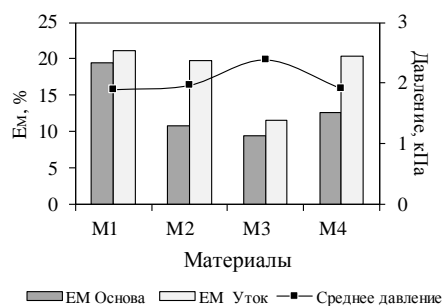


Рис. 3

На третьем этапе мы формализовали результаты экспериментов для расчета конструктивных прибавок. Нами впервые получены соотношения между удлинением материала и деформацией мягких тканей в условиях динамических поз и действия гидравлического давления для определения минимальной конструктивной прибавки E_D . Основываясь на выполненных экспериментах, мы получили отношение:

$$RC = (E_M / \Delta G), \quad (1)$$

где RC – показатель компрессионной способности материала, который может быть использован для расчета среднего удлинения при уменьшении обхвата тела на 1%; E_M – удлинение материала, %; ΔG – уменьшение обхвата тела, %.

Для исследованных материалов среднее значение RC составило $-2,45 \pm 0,8$. На основании (1) были определены минимальные поперечные и продольные конструктивные прибавки с учетом допустимого уменьшения обхватов на уровнях груди (-9,5 %), талии (-3,2 %), бедер (-4,4 %), бедра (-0,5 %) и вдоль условной боковой линии 4,4 %.

На четвертом этапе мы разработали метод 2D-проектирования чертежей конструкций гидрокостюма в САПР Richrease. Сначала мы построили чертеж базовой конструкции (БК) плотно облегającego комбинезона с минимальными конструктивными прибавками, затем его модифицировали в модельную конструкцию МК1, используя экспериментально определенные значения конструктивных прибавок. При растяжении всех материалов до максимальной длины в одном направлении происходит их укорочение в другом направлении не менее, чем на 3%.

Поэтому мы разработали новую модельную конструкцию МК2, основанную на МК1, но с изменением покроя (вместо втачного мы использовали покрой реглан [12]), введением новых линий членения в соответствии с морфологией тела и особенностями поз для дайвинга и уменьшением продольных размеров. Схема преобразования МК1 и МК2 показана на рис. 4. Величины на рис. 4 показывают величины корректировки МК1 на основе установленных зависимостей.

На четвертом этапе мы провели виртуальное моделирование костюма для проверки новых чертежей, имитации реальных материальных свойств и измерения давления. Мы скорректировали показатели свойств виртуальных материалов, отметили 174 ключевые точки для измерения давления в CLO3D на примере материала M2. Мы измеряли дав-

ление в восьми точках тела на поверхности цифрового двойника женской фигуры. В табл. 2 приведены результаты виртуальных примерок двух костюмов, сгенерированных с использованием БК и МК2, на женском аватаре.

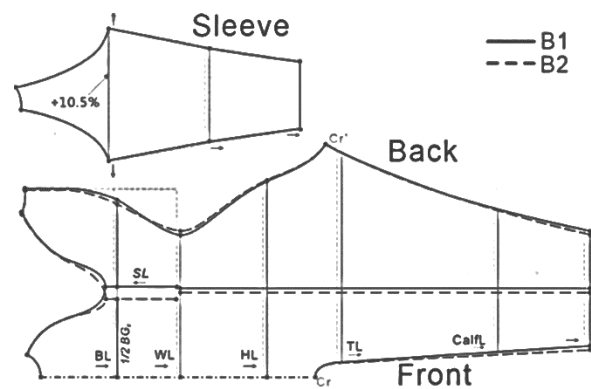


Рис. 4

Таблица 2

Участки поверхности аватара	Давление, кПа, возникающее под гидрокостюмами, построенными по чертежам		Разность, %
	БК	МК 2	
Грудь	1,15 ± 0,58	1,92 ± 0,82	67
Талия	1,52 ± 0,86	1,89 ± 0,20	24,3
Живот	2,09 ± 1,13	2,28 ± 0,40	9,1
Ягодицы	1,91 ± 0,23	2,26 ± 0,29	18,3
Плечо	0,98 ± 0,11	1,95 ± 0,07	99
Предплечье	1,39 ± 0,11	2,13 ± 0,13	53,2
Бедро	1,81 ± 0,42	2,03 ± 0,11	12,2
Икра	2,30 ± 0,39	2,48 ± 0,25	7,8
Среднее давление	1,64 ± 0,48	2,12 ± 0,28	29,3

Как видно из табл. 2, разность между создаваемыми давлениями значительна и в среднем составляет 29,3%. Новый чертеж МК2 обеспечивает относительно более высокие значения давления и более плотное прилегание. Общее распределение давления под новым костюмом относительно сбалансировано: разность между допускаемыми отклонениями в 1,7 раза меньше ($\pm 0,48$ и $\pm 0,28$).

Таким образом, разработан алгоритм нового метода построения чертежа гидрокостюма на основе использования новых баз данных, который может быть реализован в программном обеспечении CLO3D в соответствии с характерными особенностями виртуального 3D-аватара.

ВЫВОДЫ

1. Получены значения динамических приращений к размерным признакам женских фигур типа А для различных поз дайвера, находящегося под водой.

2. Проведены испытания композиционных материалов для гидрокостюма на полуавтоматическом комплексе KES, определены показатели их компрессионной способности и получены соотношения между ними и конструктивными прибавками.

3. Проверен алгоритм правильности построения чертежей гидрокостюма с помощью технологий 3D-моделирования на цифровых двойниках, включающий виртуаль-

ЛИТЕРАТУРА

1. Peng Tian. Research on the classification of young women's body based on front and back body differences // Wuhan Textile University. – 2016. P.53.
2. Li Lan. Discussion on the modern design method of dress with waistline shape // Wuhan Textile University. – 2016. P.33.
3. Wu X., Du Jinsong. Dynamics analysis of submersible sports and design essentials of wetsuits // Journal of Wuhan Textile University. – № 5, 2015. P.29...33.
4. Nakahashi M. An effect of a compressed region on a lower leg on the peripheral skin blood flow // Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – № 39, 1998. P.64...69.
5. Troynikov O., Ashayeri et al. Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports // Procedia Engineering. – №2, 2010. P.2823...2829.
6. Petrak S., Naglic M. Dynamic anthropometry – Defining protocols for automatic body measurement // Tekstilec. – № 60, 2017. P.254...262.
7. Mielicka E., Napieralska L., Jasińska I. et al. Individual 3D measurements of end users to personalize work wear clothing // IOP Publishing: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. – № 17, 2017. P.172017.
8. Wu X., Kuzmichev V., Peng T. Development of female torso classification and method of patterns shaping // Autex Research Journal. – 2018. P. 10.
9. GB/T 1335.2-1997, Standard sizing systems for garments - Women.
10. Naglic M., Petrak S. Analysis of dynamics and fit of diving suits // In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – № 254, 2017. P.152007.
11. Корнилович А.В., Кузьмичев В.Е. Мэй Шунци. Разработка принципов проектирования костюмов для парашютных видов спорта // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6.
12. Кузьмичев В.Е., Стрельцова М.С., Цан Н. Классификация формы рукавов покроя реглан // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, №6. С. 150...155.

REFERENCES

1. Peng Tian. Research on the classification of young women's body based on front and back body differences // Wuhan Textile University. – 2016. P.53.
2. Li Lan. Discussion on the modern design method of dress with waistline shape // Wuhan Textile University. – 2016. P.33.
3. Wu X., Du Jinsong. Dynamics analysis of submersible sports and design essentials of wetsuits // Journal of Wuhan Textile University. – № 5, 2015. P.29...33.
4. Nakahashi M. An effect of a compressed region on a lower leg on the peripheral skin blood flow // Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – № 39, 1998. P.64...69.
5. Troynikov O., Ashayeri et al. Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports // Procedia Engineering. – №2, 2010. P.2823...2829.
6. Petrak S., Naglic M. Dynamic anthropometry – Defining protocols for automatic body measurement // Tekstilec. – № 60, 2017. P.254...262.
7. Mielicka E., Napieralska L., Jasińska I. et al. Individual 3D measurements of end users to personalize work wear clothing // IOP Publishing: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. – № 17, 2017. P.172017.
8. Wu X., Kuzmichev V., Peng T. Development of female torso classification and method of patterns shaping // Autex Research Journal. – 2018. P. 10.
9. GB/T 1335.2-1997, Standard sizing systems for garments - Women.
10. Naglic M., Petrak S. Analysis of dynamics and fit of diving suits // In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – № 254, 2017. P.152007.
11. Kornilovich A.V., Kuz'michev V.E. Mey Shuntsi. Razrabotka printsipov proektirovaniya kostyumov dlya parashyutnykh vidov sporta // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №6.
12. Kuz'michev V.E., Strel'tsova M.S., Tsan N. Klasifikatsiya formy rukavov pokroya reglan // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2016, №6. S. 150...155.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИВГПУ. Поступила 21.01.19.