

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕТЕЛЬНОЙ
СТРУКТУРЫ КУЛИРНОГО ОДИНАРНОГО
ТРИКОТАЖА С ЭЛАСТОМЕРНЫМИ НИТЯМИ**

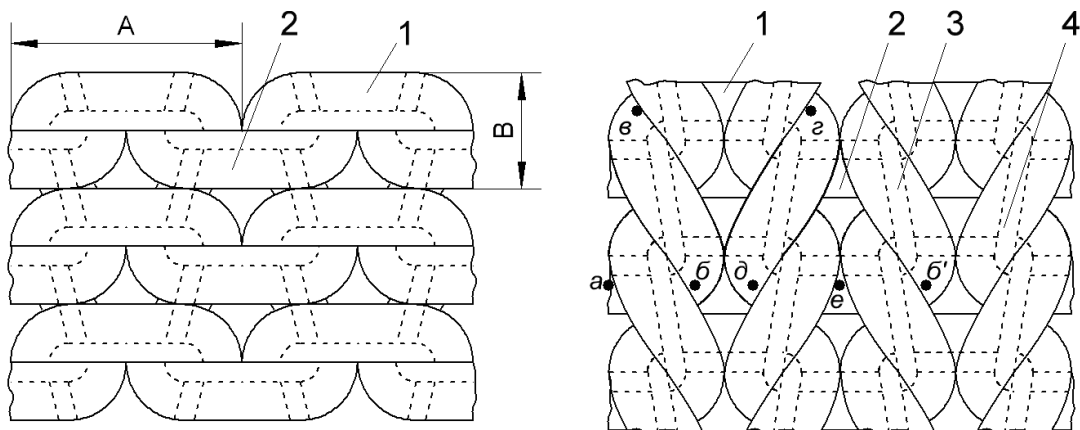
Н.Л. Надёжная, А.В. Чарковский

Одну из областей применения трикотажа с эластомерными нитями представляют компрессионные трикотажные изделия медицинского назначения. Объектом исследования в данной работе является трикотаж для компрессионного медицинского рукава, предназначенного для послеоперационной реабилитации больных раком молочной железы. Проектирование параметров петельной структуры необходимо для получения трикотажного полотна, обладающего заданными свойствами, при рациональном использовании сырья и устойчивой работе вязального оборудования [1]. Анализ работ [2 – 4], посвященных проектированию параметров петельной структуры высокоэластичных трикотажных полотен, позволяет отметить, что введение в структуру трикотажа эластомерных нитей приводит к изменению формы и взаимного расположения элементов петли по сравнению с трикотажем, выработанным из малорастяжимых нитей. В связи с этим известные зависимости, применяемые для проектирования параметров трикотажа, вырабатываемого из малорастяжимых нитей, неприменимы для трикотажа с эластомерными нитями в структуре. Следовательно, актуальной задачей является разработка зависимостей для проектирования трикотажных полотен с эластомерными нитями с учетом заданных свойств.

На предыдущих этапах работы [5] проведен анализ структур трикотажа с эластомерными нитями с точки зрения их применимости для изготовления трикотажного полотна для медицинского компрессионного рукава. В качестве одного из вариантов выбрана структура одинарного трикотажа на базе переплетения кулирная гладь, в котором по типу платированной петли совместно провязываются грунтовая хлопчатобумажная пряжа и эластомерная полиуретановая нить.

Целью настоящей работы является разработка зависимостей для расчета параметров петельной структуры кулирного одинарного трикотажа с эластомерными нитями с использованием метода геометрических моделей.

На рисунке 1 представлена структура исследуемого кулирного одинарного трикотажа в условно равновесном состоянии, в котором по типу платированной петли совместно провязаны грунтовая хлопчатобумажная пряжа и эластомерная полиуретановая нить. Особенность данной структуры в том, что эластомерная нить находится во внутреннем слое трикотажа и не участвует в образовании опорных поверхностей полотна: опорная поверхность изнаночной стороны трикотажа образована игольными 1 и платинными дугами 2 нити грунта, опорная поверхность лицевой стороны формируется петельными палочками 3, 4 той же нити. Благодаря такому расположению эластомерной нити исключается ее контакт с кожей человека при ношении трикотажных изделий. Исследуемый одинарный трикотаж в каждой петле содержит нити, обладающие различными физико-механическими свойствами, причем в случае условно равновесного состояния трикотажа грунтовая нить находится в свободном состоянии, а эластомерная – в растянутом, а толщина эластомерной нити меньше толщины грунтовой нити. Кроме того, в условно равновесном состоянии трикотаж имеет максимально плотную структуру: когда игольные и платинные дуги, а также петельные палочки смыкаются, а в процессе эксплуатации находится преимущественно в состоянии растяжения в ширину (вдоль петельных рядов).



а

б

————— – границы грунтовой нити; - - - - - – границы эластомерной нити

Рисунок 1 – Структура одинарного платированного трикотажа на базе кулирной глади при расположении эластомерной нити во внутреннем слое (а – изнаночная сторона, б – лицевая сторона)

При анализе структуры и разработке модели были приняты следующие допущения:

- растяжимостью в длину нити грунта можно пренебречь ввиду ее малости по сравнению с растяжимостью в длину эластомерной нити;
- в расчетных формулах поперечные размеры грунтовой и эластомерной нити характеризуются расчетным диаметром, одинаковым на всех участках петли;
- в зоне взаимодействия грунтовой и эластомерной нити (у оснований петельных дуг и палочек) имеет место плотная упаковка структуры: эластомерная нить располагается между волокнами нити грунта;
- конфигурация и размеры игольной и платинной дуг петли идентичны;
- расчеты длины нитей в петлях выполняются по средним линиям нитей.

Определим из рисунка 1 петельный шаг A , мм и высоту петельного ряда B , мм проектируемого трикотажа в условно равновесном состоянии:

$$A = 4d_r, \quad (1)$$

$$B = 2d_r, \quad (2)$$

где d_r – расчетный диаметр грунтовой нити, мм.

Расчетный диаметр нити d_p , мм можно определить по формуле [6]

$$d_p = 0,0357 \sqrt{T \delta^{-1}}, \quad (3)$$

где T – линейная плотность нити, текс;

δ – объемная масса нити, г/см³.

Анализ зависимостей (1) и (2) показывает, что, в отличие от трикотажа, выработанного из малорастяжимых нитей, для исследуемого трикотажа в условно равновесном состоянии петельный шаг и высота петельного ряда не зависят от длины нити в петле, а определяются только диаметром грунтовой нити. Отсюда следует важный технологический вывод: такие параметры, как число петельных рядов и число петельных столбиков на 10 см (плотности по вертикали и горизонтали соответственно), традиционно контролируемые в процессе вязания трикотажных полотен, не дают достаточного представления о строении петельной структуры трикотажа с эластомерными нитями. Следовательно, в качестве основных характеристик структуры данного вида трикотажа

выступают длина нити в петле грунта и длина эластомерной нити в петле, которые также необходимо контролировать в процессе вязания.

Учитывая, что эластомерная нить в рассматриваемой структуре находится в растянутом состоянии, ее длину в петле $l_{эГ}$, мм можно определить по формуле длины нити в петле для двухосного растяжения трикотажа [6]:

$$l_{эГ} = A + 2B + \pi d_{эГ}, \quad (4)$$

где $d_{эГ}$ – диаметр эластомерной нити в структуре трикотажа, мм.

Допустим, что в процессе растяжения эластомерной нити ее объем остается постоянным, тогда:

$$d_{эГ} = \frac{d_{э0}}{\sqrt{\lambda_{эГ}}}, \quad (5)$$

где $d_{э0}$ – расчетный диаметр эластомерной нити в свободном состоянии;

$\lambda_{эГ}$ – кратность удлинения эластомерной нити в структуре трикотажа при его условно равновесном состоянии.

Тогда длина эластомерной нити в петле, находящейся в свободном состоянии $l_{э0}$, мм, определяется соотношением:

$$l_{э0} = \frac{l_{эГ}}{\lambda_{эГ}} = \frac{A + 2B}{\lambda_{эГ}} + \pi \frac{d_{э0}}{\lambda_{эГ}^{3/2}}. \quad (6)$$

С учетом выражений (1) и (2)

$$l_{э0} = \frac{8d_{Г}}{\lambda_{эГ}} + \pi \frac{d_{э0}}{\lambda_{эГ}^{3/2}}. \quad (7)$$

Длина нити в петле грунта будет равна сумме длин петельных дуг $вг$ и $дб'$ и петельных палочек $бв$ и $гд$ (рисунок 1). Чем больше изогнуты будут данные элементы, тем больше будет длина нити в петле грунта. Известно, что при растяжении трикотажа происходит изменение конфигурации петли, смещение точек контакта между нитями, растяжение или сжатие отдельных участков нити. Рассмотрим процесс растяжения исследуемого трикотажа в ширину. Если эластомерная нить при условно равновесном состоянии трикотажа находится в его структуре в растянутом состоянии, то ее элементы в петле распрямлены и при действии растягивающей нагрузки будет происходить процесс растяжения эластомерной нити в длину и ее перетяжка из одних элементов в другие. При растяжении трикотажа в ширину в петле из грунтовой нити будет наблюдаться распрямление петельных дуг 1 и 2, раздвигание петельных палочек 3 и 4, перетяжка нити из петельных палочек 3 и 4 в петельные дуги 1 и 2. Чем больше будет длина нити в петле грунта, тем больше будет максимальная растяжимость трикотажа. Однако увеличение длины нити в петле грунта приведет к увеличению толщины и материалоемкости трикотажа.

На рисунке 2 показана упрощенная математическая модель проектируемого трикотажа в состоянии максимального растяжения в ширину, под которым будем понимать такое состояние, при котором участки нити в петле $вг$, $дб'$, $бв$ и $гд$ максимально ориентированы в направлении петельных рядов. Тогда структура трикотажа в растянутом состоянии характеризуется величинами петельного шага A_p и высоты петельного ряда B_p . Сумма длин участков $вж$ и $иг$ игольной дуги, а также соответствующих участков платинной дуги представляет собой длину окружности диаметром $d_{Г}$. Сумма длин участка $жи$ игольной дуги и аналогичного участка платинной дуги равна $A_p - 2d_{Г}$. Длину петельной палочки

можно приближенно принять за длину отрезка $b\delta$, равную $\sqrt{(B_p + d_r)^2 + d_r^2}$. Тогда длина нити в петле грунта:

$$l_r = \pi d_r + A_p - 2d_r + 2\sqrt{(B_p + d_r)^2 + d_r^2}. \quad (8)$$

Определим параметры A_p и B_p . Поскольку в условно равновесном состоянии проектируемый трикотаж по вертикали имеет максимальную плотность, то, если не учитывать сжатие грунтовой нити, можно приближенно принять $B_p \approx B$. Для определения петельного шага трикотажа в растянутом состоянии A_p введем параметр λ_{Tmax} , характеризующий максимальную кратность удлинения проектируемого трикотажа в ширину:

$$A_p = \lambda_{Tmax} A. \quad (9)$$

Тогда:

$$l_{\Gamma} = \pi d_{\Gamma} + \lambda_{T_{max}} A - 2d_{\Gamma} + 2\sqrt{(B + d_{\Gamma})^2 + d_{\Gamma}^2}. \quad (10)$$

С учетом соотношений (1), (2) выражение (10) примет вид:

$$l_{\Gamma} = (\pi + 4\lambda_{T_{max}} - 2 + 2\sqrt{10}) d_{\Gamma}. \quad (11)$$

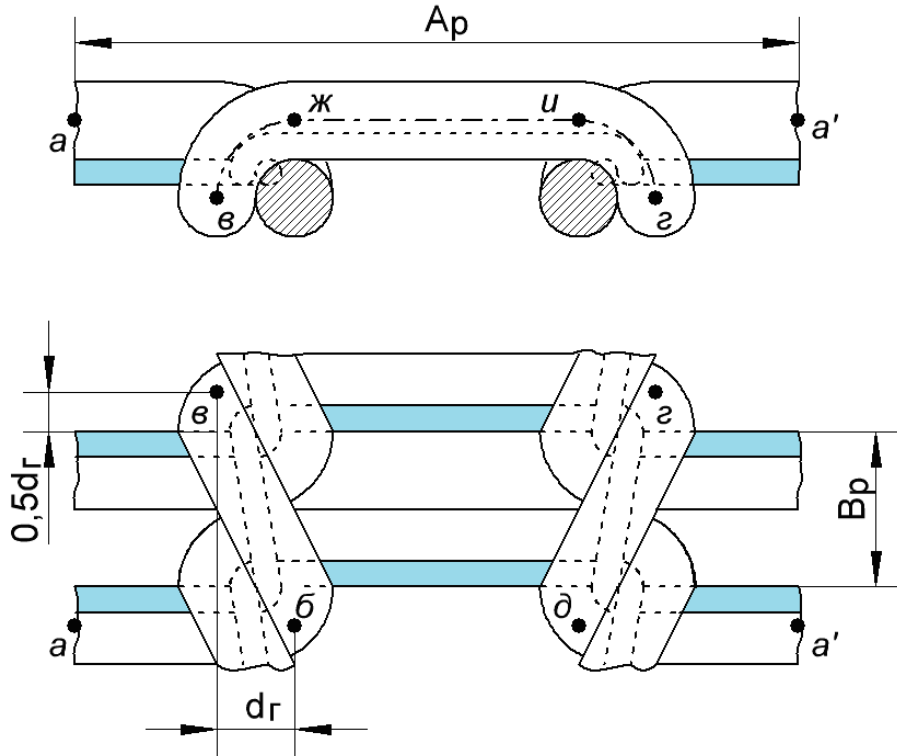


Рисунок 2 – Упрощенная геометрическая модель петли одинарного платированного трикотажа на базе кулирной глади при расположении эластомерной нити во внутреннем слое в состоянии максимального растяжения в ширину

Кроме длин нитей в петле для характеристики структуры высокоэластичных трикотажных полотен используется показатель отношения длины нити в петле грунта l_{Γ} к длине нити в петле эластомерного компонента $l_{\varepsilon 0}$. Поскольку в процессе петлеобразования обе нити кулируются на одинаковую глубину кулирования, данное отношение показывает кратность удлинения эластомерной нити в процессе вязания $\lambda_{\varepsilon B}$:

$$\lambda_{\varepsilon B} = l_{\Gamma} / l_{\varepsilon 0}. \quad (12)$$

Поверхностную плотность трикотажа ρ , г/м^2 , характеризующую его материалоемкость, можно определить по следующей формуле:

$$\rho = \frac{l_{\Gamma} T_{\Gamma} + l_{\varepsilon 0} T_{\varepsilon}}{AB}, \quad (13)$$

где T_{Γ} , T_{ε} – линейная плотность грунтовой и эластомерной нити соответственно, текс.

Анализируя соотношения (7) и (11), можно сделать вывод, что длины грунтовой и эластомерной нити в петле зависят как от диаметров нитей d_{Γ} и $d_{\varepsilon 0}$, так и от кратностей удлинения $\lambda_{\varepsilon T}$ и $\lambda_{T_{max}}$. Таким образом, исходными данными для проектирования параметров петельной структуры исследуемого трикотажа с использованием

разработанных зависимостей являются вид и линейная плотность сырья, которые определяют диаметры нитей d_r и $d_{э0}$, а также кратность удлинения λ_{Tmax} , определяемая по требованиям к максимальной растяжимости трикотажа в ширину, и кратность удлинения $\lambda_{эT}$, характеризующая степень растяжения эластомерной нити в структуре трикотажа при его условно равновесном состоянии.

Определим значение λ_{Tmax} по требованиям к растяжимости компрессионных трикотажных изделий. Согласно стандарту RAL-GZ 387/2 «Medical Compression Armsleeves. Quality Assurance» [7], растяжимость в ширину трикотажных компрессионных рукавов должна быть не менее 120 %, что соответствует кратности удлинения $\lambda_r = 2,2$. Согласно ГОСТ Р 51219 – 98 «Изделия медицинские эластичные фиксирующие и компрессионные. Общие технические требования и методы испытаний», для компрессионной одежды растяжимость должна быть не менее 200 % (кратность удлинения $\lambda_r = 3$). Учитывая данные требования, в проектируемом трикотаже примем $3 \leq \lambda_{Tmax} \leq 3,5$.

Для обеспечения структуры трикотажа, представленной на рисунке 1, необходимо, чтобы $\lambda_{эT} > 1$. Увеличение кратности удлинения эластомерной нити в структуре трикотажа $\lambda_{эT}$ приводит к уменьшению длины эластомерной нити в петле в свободном состоянии $l_{э0}$ и при постоянной длине нити в петле грунта – увеличению кратности удлинения, которая обеспечивается эластомерной нити при вязании $\lambda_{эB}$. В процессе вязания эластомерных нитей рекомендуется, чтобы кратность их удлинения находилась в пределах от 1,1 до 4,5. При проектировании трикотажа примем $1,2 < \lambda_{эT} \leq 1,8$.

На основе разработанных зависимостей определялись расчетные значения заправочных параметров петельной структуры кулирного одинарного трикотажа для компрессионного медицинского рукава, в котором в качестве нити грунта выбрана хлопчатобумажная пряжа, а в качестве эластомерного компонента – полиуретановая нить спандекс. Для расположения эластомерной нити во внутреннем слое трикотажа необходимо, чтобы $d_r > d_{э0}$. Тогда с учетом формулы (3) и объемных масс выбранных нитей $\delta_r = 0,8$ г/см³, $\delta_э = 0,75$ г/см³ [6] для соотношения линейных плотностей нитей должно выполняться условие: $\frac{T_r}{T_э} > 1,1$. Таким образом, выбрана линейная плотность хлопчатобумажной грунтовой пряжи $T_r = 16,5$ текс, линейная плотность эластомерной полиуретановой нити спандекс $T_э = 8$ текс и вычислены значения расчетных диаметров нитей $d_r = 0,162$ мм и $d_{э0} = 0,117$ мм.

Для определения влияния показателя $\lambda_{эT}$ и λ_{Tmax} на кратность удлинения эластомерной нити в процессе вязания $\lambda_{эB}$ с учетом выражений (7), (11) построены зависимости $\lambda_{эB}(\lambda_{эT})$ при $\lambda_{Tmax} = const$, представленные на рисунке 3.

Анализ построенных зависимостей позволяет отметить, что при $2,5 \leq \lambda_{эB} \leq 3,5$ для выбранных значений λ_{Tmax} будет выполняться условие $1,2 < \lambda_{эT} \leq 1,8$. Тогда длина нити в петле грунта по формуле (11) находится в пределах $3,15 \leq l_r \leq 3,48$ мм, а длину эластомерной нити в петле $l_{э0}$ можно определить из соотношения (12) при $2,5 \leq \lambda_{эB} \leq 3,5$.

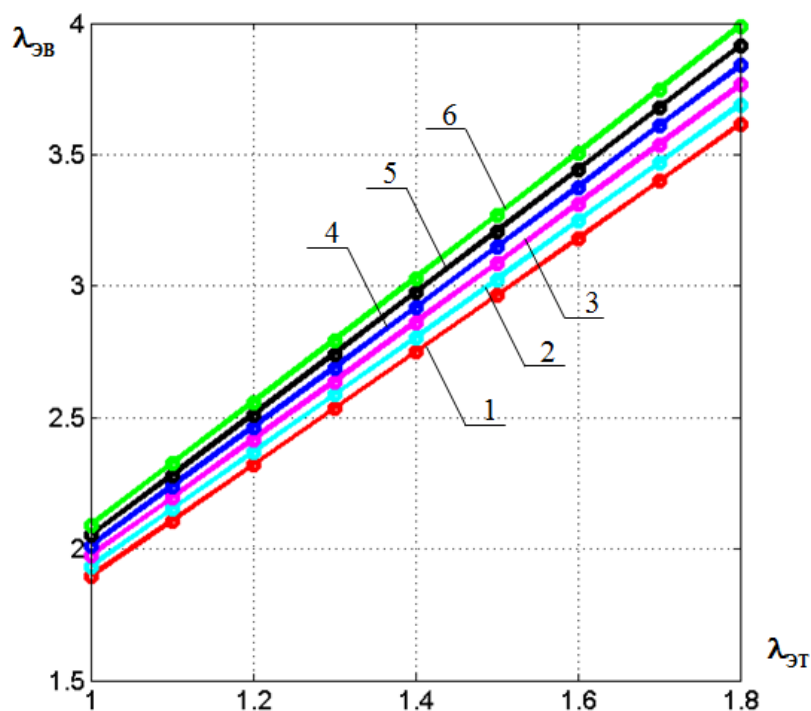


Рисунок 3 – Зависимости кратности удлинения эластомерной нити в процессе вязания $\lambda_{ЭВ}$ от кратности удлинения эластомерной нити в структуре трикотажа $\lambda_{ЭТ}$ при различных значениях максимальной кратности удлинения проектируемого трикотажа в ширину

$\lambda_{Тmax}$:

- 1 – при $\lambda_{Тmax} = 3$; 2 – при $\lambda_{Тmax} = 3,1$; 3 – при $\lambda_{Тmax} = 3,2$; 4 – при $\lambda_{Тmax} = 3,3$;
 5 – при $\lambda_{Тmax} = 3,4$; 6 – при $\lambda_{Тmax} = 3,5$

Для оценки применимости полученных приближенных зависимостей для расчета заправочных параметров петельной структуры в производственных условиях ОАО «Світанак» г. Жодино на кругловязальной машине 28 класса «Relanit 3.2» фирмы «Mayer & Cie» были выработаны образцы трикотажного полотна с длиной нити в петле грунта $l_r = 3,2$ мм и длиной эластомерной нити в петле $l_{Э0} = 1,2$ мм. Для условно равновесного состояния выработанного полотна определены расчетные и фактические значения параметров петельной структуры, которые представлены в таблице.

Таблица – Расчетные и фактические значения заправочных параметров петельной структуры одинарного трикотажного полотна для медицинского компрессионного рукава

Параметр петельной структуры	l_r , мм	$l_{Э0}$, мм	A , мм	B , мм	ρ , г/м ²
Расчетное значение	3,2	1,2	0,648	0,324	297
Фактическое значение	3,2	1,2	0,59	0,357	287
Отклонение расчетного значения параметра от фактического, %	-	-	9,8	-9,2	3,5

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что наибольшее отклонение наблюдается при определении фактического значения петельного шага A , причем данное значение меньше расчетного, а фактическое значение высоты петельного ряда B – больше расчетного. На основании этого можно сделать вывод, что реальная конфигурация петли трикотажа несколько отличается от принятой в модели. Это связано с тем, что толщина нити неодинакова на всех участках петли, что не учитывается

при расчете: например, в основании петельных палочек (рисунок 1, точки *б* и *д*) нить испытывает сжатие и ее диаметр будет меньше расчетного значения. В целом, отклонение расчетных значений *A*, *B* от экспериментальных не превышает 10 %, а отклонение расчетного значения поверхностной плотности трикотажа ρ от фактического – не превышает 5 %. В связи с этим предложенные зависимости могут применяться для проектирования заправочных параметров петельной структуры одинарного трикотажа на базе переплетения кулирная гладь, в котором по типу платированной петли совместно провязываются грунтовая и эластомерная нити.

С целью определения фактического расположения эластомерной нити относительно опорных поверхностей трикотажа сделаны фотографии лицевой и изнаночной сторон исследуемого трикотажа в условно равновесном состоянии и состоянии растяжения в ширину, которые представлены на рисунке 4.

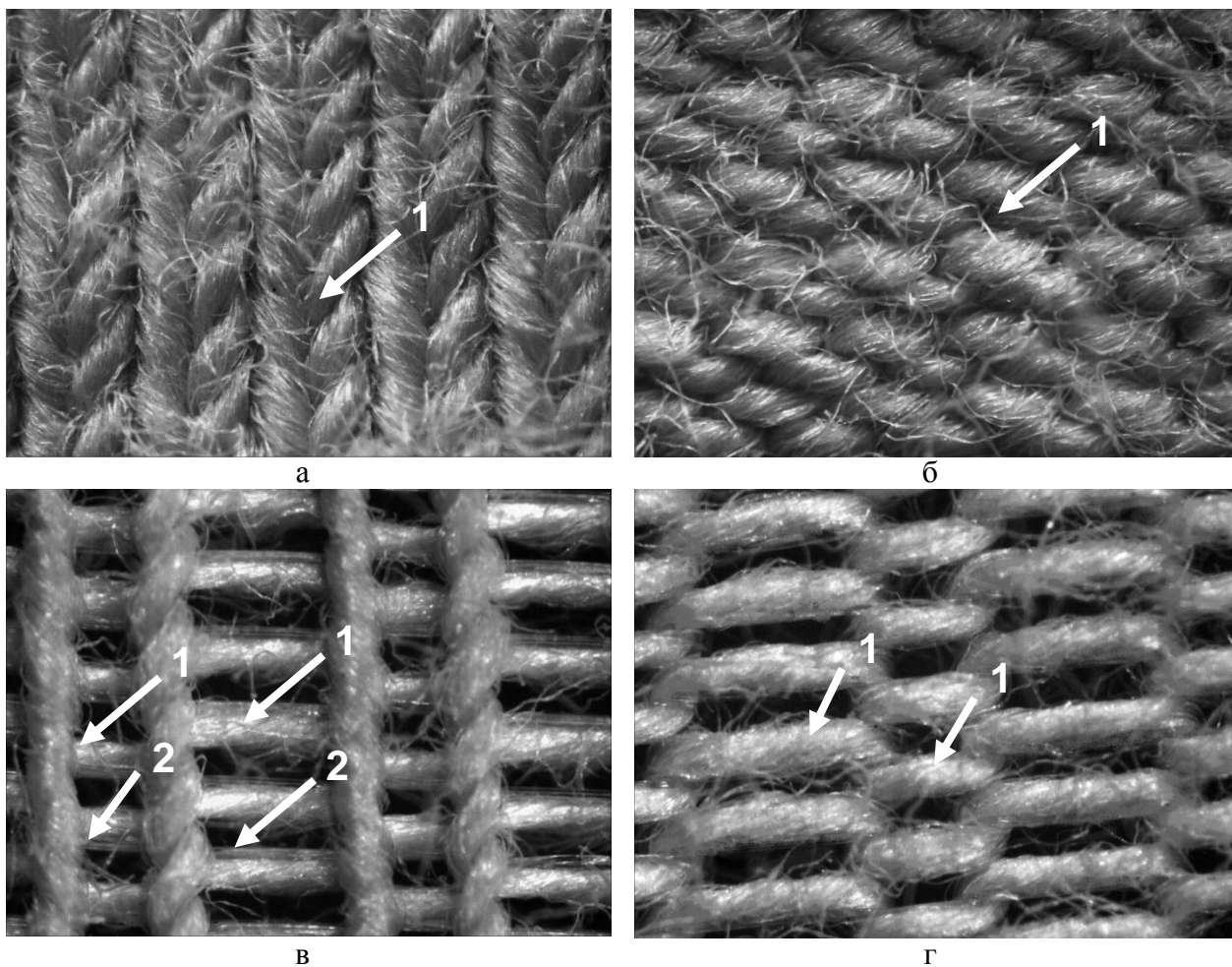


Рисунок 4 – Фотографии поверхностей лицевой (а, в) и изнаночной (б, г) сторон одинарного трикотажного полотна для медицинского компрессионного рукава в условно равновесном состоянии (а, б) и состоянии растяжения в ширину (в, г):

1 – грунтовая нить; 2 – эластомерная нить

Анализ фотографий поверхностей показывает, что в случае условно равновесного состояния трикотажа как на лицевой, так и на изнаночной его стороне располагается только хлопчатобумажная пряжа грунта, следовательно, эластомерная нить находится во внутреннем слое. При растяжении полотна в ширину эластомерная нить также находится во внутреннем слое трикотажа и не участвует в образовании опорных поверхностей.

Таким образом, разработаны теоретические зависимости для расчета длин нитей в петле, а также других характеристик структуры, для условно равновесного состояния одинарного трикотажа на базе переплетения кулирная гладь, в котором по типу платированной петли совместно провязываются грунтовая хлопчатобумажная пряжа и

эластомерная полиуретановая нить. При этом в качестве исходных данных для проектирования параметров петельной структуры, кроме диаметров используемых нитей, выступают максимальная кратность удлинения проектируемого трикотажа в ширину и кратность удлинения эластомерной нити в структуре трикотажа. Разработанные зависимости позволяют проектировать параметры трикотажа, обладающего заданной растяжимостью в ширину и расположением эластомерной нити во внутреннем слое, что исключает ее участие в образовании опорных поверхностей.

Список использованных источников

1. Шалов, И. И. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР : учеб. для вузов / И. И. Шалов, Л. А. Кудрявин. – Москва : Легпромбытиздат, 1989. – 288 с.
2. Журавлева, Н. А. Разработка технологии и ассортимента высокоэластичных трикотажных полотен улучшенного качества для бельевых и спортивных изделий : автореф. дисс. ... канд. технич. наук : 05.19.02 / Н. А. Журавлева ; МГТУ им. А. Н. Косыгина. – Москва, 2006. – 15 с.
3. Остапенко, Н. Д. Разработка технологии вязания трикотажа двуластичного переплетения с использованием полиуретановой нити и особенности проектирования изделий из него : автореф. дисс. ... канд. технич. наук : 05.19.03 / Н. Д. Остапенко ; МТИ им. А. Н. Косыгина. – Москва, 1985. – 26 с.
4. Мишта, В. П. Проектирование параметров кулирного эластичного трикотажа / В. П. Мишта, С. П. Мишта, Ф. А. Моисеенко // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1988. – № 5. – С. 105-110.
5. Чарковский, А. В. Разработка заправочных характеристик и исследование свойств эластомерного трикотажного полотна / А. В. Чарковский, Н. Л. Надежная, В. П. Шелепова // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2009. – Вып. 17. – С. 103-107.
6. Кудрявин, Л. А. Основы технологии трикотажного производства : учеб. пособие для вузов / Л. А. Кудрявин, И. И. Шалов. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 496 с.
7. RAL-GZ 387/2. Medical Compression Armsleeves. Quality Assurance. – Edition January 2008. – Deutsches Institut für Gütesicherung Und Kennzeichnung E. V., 2008 – 17 p.

Статья поступила в редакцию 28.09.2012