

**СТРУКТУРНЫЙ БАЗИС УПРАВЛЯЕМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ И ПАРАМЕТРОВ,
ОТНОСЯЩИХСЯ К ОПИСАНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН И ИЗДЕЛИЙ**

**STRUCTURAL BASIS OF THE OPERATED VARIABLES AND PARAMETRES
CONCERNING THE DESCRIPTION AND DESIGNING
OF KNITTED FABRICS AND ARTICLES**

И.Г. ЦИТОВИЧ, Н.В. ГАЛУШКИНА
I.G. TSITOVICH, N.V. GALUSHKINA

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)
(Moscow State Textile University "A.N. Kosygin")
E-mail: profutex24@mail333.com

Для реализации задач проектирования и анализа трикотажного полотна разработан инвариантный структурный базис управляемых метрических переменных и констант. Получены основополагающие зависимости, определяющие изменение основных характеристик структурной ячейки полотна: массы структурной ячейки и ее удельного заполнения в зависимости от структурных параметров.

The invariant structural basis of the operated metric variables and constants has been developed for realisation of the problems of designing and analysis of the knitted fabric in a class of "cellular" regular frameworks. The basic dependences defining the changing of the basic characteristics of a structural cell of a canvas: a structural cell mass and its specific filling (by mass and a thread thickness) depending on structural parameters, are received.

Ключевые слова: трикотажное полотно, управляемые переменные, структурная ячейка, свойства, масса, удельное заполнение, пористость.

Keywords: a knitted fabric, operated variables, a structural cell, properties, mass, specific filling, porosity.

Трикотажное полотно (трикотаж) (Fabric, F) – основной объект, от которого зависят эксплуатационные свойства изделий. Необходимо отметить, что до сих пор отсутствуют общепринятые в теории и практике базы данных (контролируемых переменных), которые составляют основу описания и расчетных инженерных процедур в виде алгоритмов и математических моделей (ММ) трикотажного полотна, относящихся к его проектированию.

Спроектировать объект – это значит сформировать его структуру, выбрать критерии эффективности (инвариантные показатели качества) и значения метрических независимых переменных, подлежащих

вариации [1]. Управление качеством, проверка соответствия, определение состояния объекта, проверка адекватности расчетных моделей – означает, что объект обладает свойством контролепригодности. Поэтому при проектировании трикотажных полотен и изделий мы не можем включать в его базис проектирования неконтролируемые параметры, которые не подлежат цифровой оценке (оцифровке), в том числе и измерению в реальном времени, имея в виду производственные условия. Отметим, что понимание информации по К. Шеннону именно отождествляется и начинается с некоторой экспериментально установленной величины. Таким образом,

нельзя судить о мере информации по величинам, которые не подлежат контролю (измерению).

Чтобы определить базис параметров, необходимых для управления проектированием, систематизируем данные, относящиеся к информационной модели (ИМ) трикотажного полотна.

Как было показано [2], основные признаки описания и идентификации любого трикотажного полотна как ИМ определяются последовательностью (кортежем) следующего вида¹:

$$F = \langle m_s, S_c, A, B, \ell_e, m_0 \rangle, \quad (1)$$

где $m_s \in M_s$ – вид переплетения на множестве переплетений M_s ; S_c – структурная ячейка полотна; A и B – геометрические параметры структурной единицы полотна (зависящие от физических свойств нити, условий деформации и нагружения полотна), ℓ_e – длина нити в базовых структурных элементах (БСЭ) $e_i \in E$, образующих структурную ячейку полотна; m_0 – масса единицы длины нити ($m_0 = T \cdot 10^{-6}$, г/мм, где T – линейная плотность нити, образующей элемент нити $e_i \in E$).

При этом описание переплетения m_s определяется семантикой вида [3]:

$$m_s \in M_s = \langle E, Th, R_e^{(s)}, R_c, R_w \rangle, \quad (2)$$

¹ С точки зрения признаков классификации трикотажной продукции (в рамках ОКП) потребительских, товарных и технологических свойств, в том числе необходимых для определения экономических затрат на изготовление полотна, к основным параметрам полотна можно отнести его поверхностную плотность ρ (г/м²), длину L (м) и ширину W (см), переплетение (m_s) и плотность петель Π_Γ, Π_B , тогда формализация для F будет $F = \langle m_s, \Pi_\Gamma, \Pi_B, \rho, L, W \rangle$. Во многих случаях даже эти макрохарактеристики не имеют численной оценки в технической документации на поставку полотна.

где E – множество базовых структурных элементов (БСЭ) ($E = \{e_i\}$); Th – множество нитей ($Th \in \{th_i\}$); R_c и R_w – координаты положения БСЭ переплетения, причем

$$R_c \in R_H, R_w \in R_B,$$

где R_H, R_B – раппорт переплетения; $R_e^{(s)}$ – множество логических отношений размерности "s" БСЭ e_i (допустимых технологически).

В свою очередь, структурная ячейка S_c как совокупность структурных единиц S_e ($S_c = \{S_e\}$), образующих клеточную структуру полотна из БСЭ $e_i \in E$ из нитей $th_i \in Th$, имеет размерность n_e и определяется по количеству элементов и координатам пространства n_c и n_w , определяет размерность области структурной ячейки, описывается конструкцией вида:

$$S_c = \langle e_i \in E, th_i \in Th, n_e, n_w, n_c \rangle. \quad (3)$$

ИМ (1) – (3) полностью идентифицируют структуру готового трикотажного полотна как регулярной клеточной структуры и позволяют определить при контроле его основные показатели как материального объекта: массу структурной единицы и ее удельную плотность.

Такие оценки, как было установлено в [2], имеют вид:

для массы структурной ячейки:

$$m_c = \sum_{i=1}^{n_e} m_i \ell_i = 10^{-6} \sum_{i=1}^{n_e} \ell_i T_i, \text{ г,}$$

для поверхностной (удельной) плотности ячейки трикотажа:

$$\rho_c = \frac{m_c}{n_w n_c AB} = 10^{-6} \frac{\sum_{i=1}^{n_e} \ell_i T_i}{n_w n_c AB}, \text{ г/мм}^2. \quad (4)$$

При $T = \text{const}$:

$$\rho_c = 10^{-6} \frac{n_e \ell T}{n_w n_c AB} = 10^{-6} \frac{LT}{n_w n_c AB}, \text{ г/мм}^2, \quad (5)$$

где ℓ – средняя длина нити в структурной ячейке полотна, а L – суммарная длина нити образующих ее элементов.

Из (5) следует для поверхностной плотности полотна²:

$$\rho = 10^6 \rho_c = \frac{n_e \ell T}{n_w n_c AB} = \frac{LT}{n_w n_c AB}, \text{ г/м}^2. \quad (6)$$

Заметим, что если известно ρ для готового полотна, то при его анализе можно определить по ее размерным параметрам n_w и n_c , A и B ряд важных физических характеристик:

массу структурной ячейки:

$$m_c = 10^{-6} \rho n_w n_c AB = 10^{-6} \rho S_c, \text{ г}$$

(здесь $S_c = n_w n_c AB$ – площадь ячейки);

суммарную длину нити L в структурной ячейке полотна:

$$L = \rho n_w n_c AB T^{-1};$$

если известна толщина (диаметр) нити d , то можно определить поверхностный модуль:

$$\sigma_s = \frac{(L - nd)d}{n_w n_c AB} = \frac{(L - nd)d}{S_c},$$

где n – количество пересечений элементов нити (определяется по анализу структурной ячейки).

При этом доля "воздушных промежутков" как характеристика пористости и воздухопроницаемости материала будет $p = 1 - \sigma_s$. При необходимости можно

² Что существенно, параметры структурной ячейки полностью определяют макрохарактеристики всего полотна.

оценить суммарную площадь пор:

$$S_p = S_c - (L - nd)d, \text{ мм}^2.$$

Поскольку параметры A и B при заданной длине нити в петле (ℓ) являются параметрами состояния, зависящими от физических свойств нити и величины нагрузки [4], то можно ввести величину деформации ε_A и ε_B в направлении координат петельных рядов R_w и столбиков R_c . Тогда в общем виде с учетом (4) можно получить:

$$\rho_c = 10^{-6} \frac{\sum_{i=1}^{n_c} \ell_i T_i}{n_c n_w A (1 + \varepsilon_A) B (1 + \varepsilon_B)}, \text{ г/мм}^2, \quad (7)$$

как удельную характеристику материального заполнения, отнесенного к структурной ячейке полотна с учетом ее двухосной деформации.

Вместе с тем, абсолютные оценки параметров готового полотна (так же, как и других материальных объектов): длины нити в петле, плотности петель и др. не позволяют нам судить о качестве трикотажного материала и изменении его физико-механических свойств при изменении параметров полотна³. Это оценки состояния существующего (готового) полотна, необходимых для сравнения с нормой.

Определяя пространство варьируемых параметров, необходимых для проектирования и управления свойствами полотна, сравнивая инвариантные структурные характеристики, определяющие качество трикотажного полотна, в том числе в зарубежной практике, можно установить, что все применяемые параметры пропорциональны отношению длины нити в петле (ℓ) к корню квадратному из линейной плотности нити (\sqrt{T}). В различной интерпретации за рубежом используют: коэф-

³ Из (7) следуют вообще неадекватные оценки: с увеличением ℓ растет ρ , а по факту уменьшается, что является следствием того, что в базис переменных входят зависимые параметры.

фициент застила (cover factor - CF) – ввел для простых структур D.L. Munden (1959, 1962); коэффициент плотности (tightness factor – TF, R. Postle (1965)); для комбинированных – в виде показателя плотности материала (structural tightness factor – STF) использовал J.J.F. Knapton (1973), в том числе как характеристику вязальной машины MTF (machine tightness factor). При экспериментальных исследованиях эти характеристики использовали Baird, Foulds (1968), Nutting T.S., Leaf G. (1964), Anand S.C., Braun S.M. (2002) и др. Проф. Шалов И.И. (1962) предложил такую оценку коэффициента заполнения рассчитывать из соотношения

$$\sigma = \ell \sqrt{N}, \text{ или } \sigma = 31,6 \frac{\ell}{\sqrt{T}}.$$

В зарубежной практике такая оценка является обратной величиной $K = \frac{\sqrt{T}}{\ell}$ (имеющая, кстати, более точный физический смысл), что позволяет сравнивать получаемые результаты, гармонизируя знания.

Обобщая информацию, в качестве инвариантных управляемых параметров ("сущностей качества") для класса регулярных "клеточных" структур трикотажного полотна можно ввести следующий структурный базис проектирования трикотажных полотен:

– коэффициент (показатель) заполнения трикотажного полотна $k_\ell = \frac{\ell}{\sqrt{T}}$, где ℓ

– "средняя" длина нити в петлях различного вида (или других элементах) грунтового переплетения полотна; T – суммарная или приведенная к определенной длине линейная плотность всех нитей;

– коэффициенты формы "петли": $k_A = \frac{A}{\ell}$ и $k_B = \frac{B}{\ell}$, определяющие состояние петель трикотажа в зависимости от условий отделки;

– коэффициенты отношений длины структурных элементов $k_{e_i} = \frac{\ell_{e_i}}{\ell}$, где ℓ_{e_i}

– длина любого элемента e_i в структурной ячейке трикотажа;

– фактор отделки k^F (оценки деформационного состояния полотна), зависящий от оборудования, вида и режимов процессов отделки полотна и изделий, применяемых на предприятии: $k_A^F = \frac{k_A}{k_A^0}$ и $k_B^F = \frac{k_B}{k_B^0}$,

где геометрические константы k_A^0 и k_B^0 относятся к "условно-равновесному" состоянию трикотажа (по И.И. Шалову).

Введение факторов отделки k^F (k_A^F , k_B^F) позволяет оценить усадку изделий: по ширине ε_A и по длине ε_B полотна (или изделий)⁴: $\varepsilon_A = \frac{k_A - k_A^0}{k_A^0}$ и $\varepsilon_B = \frac{k_B - k_B^0}{k_B^0}$. С учетом структурных параметров формализованная ИМ, относящаяся к проектированию полотна, будет иметь вид:

$$S_p = \langle m_s, S_c, k_\ell, k_e, k_A, k_B, k_A^F, k_B^F, m_0 \rangle. \quad (8)$$

Для определенного вида переплетения m_s из множества известных (или применяемых) в производстве ($m_s \in M_s$), связанного из определенного вида нити th ($th \in Th$) с определенной структурной ячейкой S_c полотна, пространство состояний S полотна (по массе, свойствам) будет определяться следующими независимыми параметрами:

$$S_{m_s} = \langle k_\ell, k_e, k_A, k_B, k_A^F, k_B^F, m_0 \rangle. \quad (9)$$

Как видно из (9), пространство, определяющее состояние полотна, является метрически определенным, вектор состоя-

⁴ Факторы отделки в виде коэффициентов влияния использовались в программе Starfish (*Start as you mean to Finish*) Международного института хлопка (*International Institution Cotton*, Манчестер, Англия, 1984).

ния нормированным, а его параметры - регулируемые и управляемые (или являются константами).

Внесем важные для практики проектирования и контроля уточнения.

Для любого переплетения полотна со структурной ячейкой:

$$S_e = \langle n_e, n_c, n_w \rangle,$$

образованного из элементов $e_i \in E$ с длиной элементов ℓ_i на основе базового переплетения (грунта) с длиной петли ℓ_1 из нитей $th \in Th$ различной линейной плотности T_i справедливо, в том числе для любых условий деформации ε_A и ε_B ⁵:

$$\sum_{i=1}^{n_e} \ell_i T_i = m_{s_e} = \text{const}.$$

Указанное соотношение можно привести к любой длине, в том числе длине нити в петле грунта ℓ_1 по формуле:

$$m_{s_e} = \ell_1 (T_1 + T_2 k_{e_2} + \dots + T_n k_{n_e}).$$

При этом суммарная линейная плотность всех нитей, приведенная к ДНП, ℓ_1 будет:

$$T = T_1 + T_2 k_{e_2} + \dots + T_n k_{n_e}. \quad (10)$$

Таким образом, если принять в качестве коэффициента заполнения характеристику $k_\ell = \frac{\ell}{\sqrt{T}}$, то необходимо учитывать следующее: для сложной (любой) структурной ячейки полотна под T мы будем понимать приведенную суммарную линейную плотность, определенную из соотношения (10), под ℓ – длину нити в петле грунта ℓ_1 .

⁵ Если известна деформация нити ε_ℓ при нагрузке или усадке нити, то фактическую линейную плотность можно определить в виде $T_\phi = T(1 + \varepsilon_\ell)$.

При условии $\ell_i = \text{const}$ ($k_{e_i} = 1$) под T – будем принимать суммарную плотность всех нитей ($T = \sum_{i=1}^{n_e} T_i$). И, наконец, для переплетений, состоящих из петель одинаковой длины $\ell_i = \text{const}$ и образованных из нитей постоянной линейной плотности, $T = n_e T_1$.

При этом в качестве длины приведения ℓ может быть принята средняя ДНП $\ell = \sum_{i=1}^n \ell_i / n_e$, обычно контролируемая по скорости или длине (урботки) нити в процессе вязания.

В базисе управляемых переменных по результатам проектирования переплетений [3] можно рассчитать при проектировании основную характеристику трикотажного полотна: удельное заполнение ячейки полотна и поверхностную плотность полотна, как характеристику материалоемкости продукции:

$$\rho_{s_e} = 10^{-6} \frac{n_e \sqrt{T}}{n_w n_c k_\ell k_A k_B}, \text{ г/мм}^2$$

или

$$\rho = \frac{n_e \sqrt{T}}{n_w n_c k_\ell k_A k_B}, \text{ г/м}^2.$$

Для простейшего и наиболее массового случая, когда грунт полотна образован главными переплетениями, получим:

$$\rho = \frac{\sqrt{T}}{k_\ell k_A k_B} = C_m \sqrt{T},$$

где $C_m = \frac{1}{k_\ell k_A k_B}$ – фактор массы, определяющий изменение единицы площади материала (в том числе возможность ее регулирования).

Если C_m – константа (заданы при проектировании и обеспечены при вязании k_ℓ , при отделке k_A, k_B), то расход сырья

на единицу площади материала пропорционален \sqrt{T} нити. Дисперсия или отклонения (погрешности) массы будут определяться только вариацией линейной плотностью нити (пряжи).

ВЫВОДЫ

Для реализации задач проектирования и анализа трикотажного полотна в классе "клеточных" регулярных структур разработан структурный базис управляемых метрических переменных и констант. Получены основополагающие зависимости, определяющие изменение основных характеристик структурной ячейки полотна: массы структурной ячейки и ее удельного заполнения (по массе и толщине нити) в зависимости от структурных параметров.

Предлагаемые модели позволяют реализовать в производстве *этап проектирования* как расчетную процедуру, основываясь на создании экспериментальных баз данных, в структуре ЖЦ трикотажной продукции, в определенной мере опираясь на концепцию проектирования проф. И.И.

Шалова и методологию зарубежных ученых (D.L. Munden, J.J.F. Knapton, R. Postle, S.C. Anand и др.) для любых регулярных структур и структурных ячеек полотна при использовании пряжи и нитей различной линейной плотности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вермишев Ю.Х.* Основы автоматизированного проектирования. – М.: Радио-связь, 1988.
2. *Цитович И.Г., Галушкина Н.В.* Формализованное описание трикотажных полотен регулярных структур как материального объекта // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №4.
3. *Цитович И.Г., Андреев А.Ф., Галушкина Н.В.* Синтез регулярных структур переплетений как алгебраической дискретной системы на матрице бинарных отношений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №1. С.74...80.
4. *Цитович И.Г., Козлов В.С. и др.* К расчету параметров кулирного полотна из тонких упруго-пластических нитей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1991, № 3, 4.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 03.10.10.