

УДК 677.025.1

**ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН И ИЗДЕЛИЙ
СО СЛОЖНОЙ СТРУКТУРНОЙ ЯЧЕЙКОЙ**

**BASIC SETTLEMENT PROCEDURES OF DESIGNING
OF KNITTED FABRICS AND ARTICLES
WITH A DIFFICULT STRUCTURAL CELL**

*И.Г. ЦИТОВИЧ, Ю.Б. СПИРИНА, Н.В. ГАЛУШКИНА, А.Р.ВАРЛАМОВ
I.G. TSITOVICH, JU.B. SPIRINA, N.V. GALUSHKINA, A.R. VARLAMOV*

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

Рассмотрена процедура проектирования трикотажного полотна по заданным характеристикам заполнения структурной ячейки материала и необходимые условия решения задачи проектирования и технологического обеспечения заданных требований в процессе вязания полотна.

The procedure of designing of a knitted fabric under the set characteristics of filling of a material structural cell and necessary conditions of the decision of a problem of designing and technological maintenance of the set requirements in the course of fabric knitting is considered.

Ключевые слова: проектирование, трикотажное полотно, структурный базис, структурная ячейка, коэффициент заполнения, поверхностная плотность, параметры процесса вязания, скорость нити, натяжение.

Keywords: designing, a knitted fabric, structural basis, a structural cell, a cover factor, surface density, knitting process parametres, a yarn speed, a tension.

Рассматривая категорию качества трикотажной продукции, имеются в виду две основные составляющие: одна относится к конструктивному дизайну изделий и его эстетическому оформлению – предмет маркетинга и художественно-технологических решений (при этом результаты проек-

тирования "переносятся" в управляющие технологические программы (УТП) для обеспечения необходимых технологических функций машины, используя САД-, САЕ-инструменты и специальное программное обеспечение технологического оборудования); вторая составляющая от-

носится к качеству материала, структурным параметрам трикотажного полотна и изделий, определяющих их размеры, поверхностную плотность, растяжимость, износостойкость и другие физико-механические свойства. Несмотря на использование трикотажных машин с числовым программным управлением (ЧПУ) (например, чулочно-носочного оборудования), алгоритмы управления структурными параметрами трикотажа при проектировании и вязании полотна во многих случаях остаются неопределенными из-за отсутствия инвариантной базы проектирования как трикотажного полотна, так и обеспечения этих данных при управлении процессом вязания. Как следствие, не могут быть реализованы инструменты параметрического синтеза и расчетные процедуры в структуре информационных технологий.

В работах [1], [2] было показано, что разработанная информационная модель (ИМ) трикотажного полотна, основными компонентами (признаками) которого являются структурные базовые единицы переплетения, образованные из различных нитей с заданной массой единицы длины (или линейной плотности нити), совокупность которых образует структурные ячейки и регулярную клеточную структуру трикотажного материала, позволяет рассчитывать его основную микрохарактеристику – удельную плотность материала, используя метрическое пространство управляемых переменных (базис проектирования) – структурных параметров трикотажа. Информационно такой базис частично совпадает со структурным базисом описания готового полотна, применяемого в зарубежной практике, а также при решении задач автоматизированного проектирования (САД-полотен) в рамках информационных технологий (ИТ) [3]. В проводимой нами работе методология относится к более точной оценке качества трикотажных полотен по его структурной ячейке и параметрам базового (грунтового переплетения). Базовой основой развития этой методологии являются работы проф. И.И. Шалова (1962), который считал, что удельные характеристики заполнения трикотажной

нитью (модули петель и их соотношения) являются важными для изменения и управления основными свойствами трикотажного полотна. Он также обратил внимание на целесообразность оценки модуля петли по близкой к нему физической характеристике – отношению длины нити в петле (ℓ) к метрическому номеру пряжи (N). Если эту оценку достаточно просто получить для петельных структур (гладь, ластик, двуластик), то для более сложных структурных единиц (количество которых включает более десятка единиц элементов) возникает вопрос об оценке коэффициентов заполнения таких более сложных структур и расчету удельной плотности материала.

Оценки коэффициентов заполнения (k_ℓ) структурной единицы, состоящей из петель (гладь, ластик, двуластик), могут быть определены по длине нити в петле на основании заправочных данных, заимствованных из зарубежных публикаций, различных технологических документов (режимах, ТУ и др.) или на основании статистики роспуска образцов или изделий. В общем виде мы имеем в производстве и торговле изделия и полотна, изготавливаемые из различных видов сырья, отличающихся линейной плотностью (T_{ki}), структурная ячейка которых образована из различных базовых элементов (e_i), например, платированные, плюшевые, футерованные, прессовые, жаккардовые (полные и неполные) переплетения и т.п. Будем считать, что длина всех элементов управляется и регулируется (или может быть постоянной, например, длина элементарной протяжки нити без учета растяжения может быть равна величине петельного шага). Действительно, создавая любое переплетение, мы должны иметь в виду, что в процессе вязания мы можем измерять и регулировать длину элементов структуры, также имея в виду, что элементу e_i соответствует длина ℓ_i . Это позволяет нам рассчитывать массу структурных элементов и структурной ячейки по длине элементов ℓ_i и массе единицы длины нити ($m_0 = T \cdot 10^{-6}$, г/мм), то есть. должно быть $m_i = \ell_i m_0$.

Причем если учитывать деформацию нити (что необходимо делать для все более широкого использования эластанов), то о длине нити и ее линейной плотности можно всегда говорить по ее значению в условиях испытания при определенном натяжении, имея в виду закон сохранения массы длины нити при деформации.

В большинстве случаев вся трикотажная продукция образована на основе определенной базовой структуры ("грунтового" переплетения), в которой "встраиваются" на основе замещения или формирования многослойной конструкции различные области со структурными и цветовыми эффектами, решая задачи художественно-колористического оформления и эстетического дизайна трикотажного полотна. В целом, именно качество "грунта" определяет размеры и функциональные свойства полотна и изделий, в том числе эксплуатационные характеристики полотна (формоустойчивость, усадку, износостойкость и другие).

В работе [2] было введено понятие метрики структурной ячейки, количественная оценка ее параметров $S_e = \langle n_e, n_w, n_c \rangle$, где n_e – это количество (сумма) структурных единиц, образующих ячейку; n_w и n_c – ее протяженность в координатах "поля вязания" (R_c, R_w или R_x, R_y).

$$m_s = T_1 \ell_1 (n_1 + n_2 k_{e2} \frac{T_2}{T_1} + n_3 k_{e3} \frac{T_3}{T_1} + \dots + n k_{en} \frac{T_n}{T_1}), \quad (2)$$

или

$$m_s = T_1 L,$$

где $L = \ell_1 (n_1 + n_2 k_{e2} \frac{T_2}{T_1} + n_3 k_{e3} \frac{T_3}{T_1} + \dots + n k_{en} \frac{T_n}{T_1})$ – длина нити, образующая структурные ячейки, приведенная к "базовому модулю" структуры – переплетению грунта. Причем всегда можно положить $L =$

$$\rho = \frac{T_1 \ell_1 (n_1 + n_2 k_{e2} \frac{T_2}{T_1} + n_3 k_{e3} \frac{T_3}{T_1} + \dots + n k_{en} \frac{T_n}{T_1})}{n_c n_w AB} \cdot 10^{-6}, \text{ г/мм}^2. \quad (3)$$

Введем в формулу (3) базис структурных параметров, относящийся к структур-

Введем некоторые уточнения: обозначим n_s – количество различных единиц e_i , образующих структурную ячейку ($n_s \leq n_e$). Например, для футерованного переплетения с кладкой футерной нити 1:3 мы имеем три вида элементов: e_1 – петля грунта, e_2 – "петля" футера, e_3 – протяжка. Причем в структуре ячейки S_e : $n_1 = 4$ петли грунта, $n_2 = 1$ "петля" футера и $n_3 = 3$ протяжки футера. Таким образом, уточненная метрика структурной единицы содержит совокупности чисел:

$$S_e = \langle n_e, n_w, n_c, n_{se} \rangle$$

или

$$S_e = \langle n_e(n_{ei}), n_w, n_c \rangle,$$

где n_{ei} – количество различных элементов, образующих структурную ячейку, имея в виду, что каждый элемент e_i может повторяться в структурной ячейке n_i раз. Тогда масса структурной ячейки будет:

$$m_s = n_1 \ell_1 T_1 + n_2 \ell_2 T_2 + \dots + n \ell_n T_n. \quad (1)$$

Полагая $\ell_1 = k_{ei} \cdot \ell_i$, где k_{ei} – коэффициент "уработки" длины нити, образующий i -й элемент структурной ячейки из множества n_s , из (1) получим:

$\ell_{cp} \cdot n_e$, где ℓ_{cp} – некоторая средняя уработка, приходящаяся на одну структурную единицу, которая может быть определена экспериментально или по средней скорости подачи нити (см. формулу (10)).

Из (2) с учетом абсолютных размеров структурной единицы найдем удельную плотность ячейки (в зарубежной практике используется размерность мг/см^2):

ным параметрам грунта $\ell_1 = k_\ell \sqrt{T_1}$, $k_A =$

$\frac{A}{\ell_1}$, $k_B = \frac{B}{\ell_1}$. В результате для любых видов регулярных структур получим в общем

$$\rho = \frac{\sqrt{T_1}(n_1 + n_2 k_{e2} \frac{T_2}{T_1} + n_3 k_{e3} \frac{T_3}{T_1} + \dots + n_k k_{en} \frac{T_n}{T_1})}{n_c n_w k_\ell k_A k_B}, \text{ г/м}^2, \quad (4)$$

Из анализа (4) можно сделать важные для практики выводы. Во-первых, метрика структурной ячейки S_e , ее размерность n_e, n_w, n_c , должна быть определена как результат проектирования переплетения и отображения полотна. Во-вторых, для каждого переплетения структурной ячейки S_e полотна должны быть введены переменные k_ℓ, k_e, k_A, k_B – базис проектирования инвариантный для определенного класса переплетений. В-третьих, как видно, поверхностная плотность и расход сырья зависят от линейной плотности (T), при этом зависимость (4) имеет сложный характер. Причем систематические погрешности в отклонениях линейной плотности могут приводить как к экономии сырья, так и его перерасходу. Поэтому необходим тщательный входной контроль сырья по линейной плотности: поставки сырья в тоннах при массовом производстве продукции могут приводить к миллионным убыткам без точного контроля линейной плотности пряжи и нитей [4].

Рассмотрим некоторые частные случаи, имеющие приложение к практике массового производства, например, чулочно-носочных изделий. Наиболее распространенная технология, в том числе реализуемая посредством современных машин с электронным программным управлением, – изготовление чулочно-носочных изделий на базе главных, платированных и плюшевых переплетений. Грунт таких переплетений образован из одно-, двухкомпонентных структур из нитей с определенной линейной плотностью.

Для платированного (или плюшевого) двухкомпонентного переплетения наиболее типичного для производства чулочно-носочных изделий, образованного из различных нитей с линейной плотностью T_1 и T_2 из (4) получим (индекс "*" относится к расчетным значениям):

в виде формулы для расчета поверхностной плотности полотна:

$$\rho^* = \frac{\sqrt{T_1(1+k_{e2} \frac{T_2}{T_1})}}{k_\ell k_A k_B}, \text{ г/м}^2. \quad (5)$$

Для простейших однокомпонентных структур (гладь, ластик) из (5) следует известное выражение $\rho = \frac{\sqrt{T}}{k_\ell k_A k_B}$ [2].

При проектировании полотна кроме поверхностной плотности ρ необходимо определить (рассчитать) длину нити в петле ℓ^* грунта и длины уработки других нитей ℓ_i^* из соотношений

$$\ell_1^* = k_\ell \sqrt{T_1} \text{ и } \ell_\ell^* = k_e \ell. \quad (6)$$

Кроме того, мы должны определить количество рядов в участке полотна n_r^* и количество петельных столбиков N^* по заданным размерам (участка): длине L^* и ширине W^* в структурном базисе переменных, используя соотношения:

– для количества рядов n_r , которые необходимо связать для заданной длины L^* участка полотна (или наработки определенной длины рулона полотна):

$$n_r^* = \frac{L^*}{k_B k_\ell \sqrt{T_1}}, \quad (7)$$

– для количества петельных столбиков, определяющих заданную ширину полотна (или участка изделия) W^* :

$$N^* = \frac{W^*}{k_A k_\ell \sqrt{T_1}}. \quad (8)$$

В общем виде значение N^* должно соответствовать количеству игл в цилиндре машины $N_{и}$. При несоответствии необходимо изменять k_ℓ (ℓ или T (текс) нити), условия отделки (ϵ_A) полотна (с изменением его усадки) или количество игл в заправке машины (для плосковязальных машин). Для чулочно-носочных изделий ко-

личество игл определяется из условий "непровисания" изделия при его надевании на ногу:

$$N_{и} = \frac{O_1}{k_A k_{\ell} \sqrt{T_1(1+\varepsilon_A)}},$$

где O_1 – обхват ноги на участке щиколотки; ε_A – величина деформации полотна по ширине (зависит от допускаемого уровня компрессии изделия на заданном участке или условий комфортности (для массовых видов одинарных переплетений $\varepsilon_A = 0,1 \dots 0,3$; двойных (ластичных) переплетений $\varepsilon_A = 0,5 \dots 0,7$). Выбор оптимального значения ε_A имеет особое значение для высокоэластичных полотен с применением эластанов.

Для наработки рулона полотна или участка изделия с длиной L^* на машине с количеством игл $N_{и}$:

$$m^* = \frac{L^*}{k_B} N_{и} T \cdot 10^{-3}, \text{ кг} \quad (9)$$

как элемент нормирования и материалоемкости продукции.

При анализе (7) можно отметить, что от количества рядов n_r пропорционально зависит производительность машины (и машинное время). Как пример, для чулочно-носочных изделий, изготовленных на базе платированных переплетений из сочетания хлопчатобумажной пряжи и пневмосоединенных комплексных эластановых нитей, в среднем $k_B = 0,15$, а для изделий из сочетания хлопчатобумажной пряжи с "эластиком" $k_B = 0,20$. Это означает, что при вязании изделий одинаковых размеров $L = \text{const}$; в первом случае мы имеем потерю производительности 25%, а при вязании безудачных изделий при $k_B = 0,11-0,12$ – более 40%. Это, так сказать, плата за комфорт продукции, за использование пневмосоединенных эластанов. При этом мы имеем также снижение растяжимости чулочно-носочных изделий на 8...10%.

Из (9) следует, что при уменьшении k_B соответственно растет масса изделий и перерасход сырья, а в целом – себестоимость продукции. Таким образом, описание трикотажного полотна в структурном базисе

переменных k_{ℓ}, k_A, k_B позволяет оценивать их влияние не только на свойства продукции, но и на экономику производства.

Отметим, что все проектные процедуры относят к использованию номинальных значений параметров. Фактические данные мы имеем при реализации процесса вязания, где формируются разного рода "ошибки" в виде дисперсий параметров (систематических и случайных). Любая трикотажная машина реализует два типа управления: функциональное – управление функциями процесса вязания и петлеобразования; и параметрическое – управление структурными параметрами полотна, размерами и свойствами готовой продукции. Для реализации этих функций машину снабжают регуляторами. Регуляторы первого типа, относящиеся к функциональному проектированию, работают в режиме "да-нет" (включено-выключено): управление клиньями, нитеводами, механизмами отбора игл. Второго типа – реализуют программное управление параметрами машины (натяжением нити, глубиной кулирования, скоростью подачи нити, длиной нити в петле и др.)

Новая концепция конструкции трикотажных машин: вместо централизованного привода применяют цифровое управление от независимых дискретных приводов и программное обеспечение – станки с ЧПУ, визуализацией данных. Сложность процесса вязания не позволяет реализовать детерминированное управление заданной длиной нити в петле (ℓ_1) и величиной уработки нитей (ℓ_i) при вязании сложных структур при использовании пряжи и нитей различной линейной плотности. В общем виде по заданной длине нити в петле ℓ^* и уработке нити ℓ_i^* представляется возможным при определенных условиях определить скорость нити из соотношения [5]:

$$V^* = \ell(1+\alpha T) \frac{V_{ц}}{t_u} = \frac{\ell}{t_u} (1+\alpha T) V_{ц}, \quad (10)$$

где α – коэффициент растяжимости, сН^{-1} ($\alpha = \frac{1}{\rho}$, где ρ – жесткость нити, сН).

Причем это уравнение справедливо для любого элемента структуры трикотажа, который имеет длину ℓ_i и образуется в заданных координатах клеточного поля вязания.

После преобразований (10) и с учетом независимых параметров машины – числа игл N_n и частоты вращения цилиндра можно получить:

$$V = \ell \cdot N_n(1 + \alpha T)n \cdot 10^{-3}, \text{ М/МИН},$$

или

$$V = L_0(1 + \alpha T)n \cdot 10^{-3}, \text{ М/МИН},$$

где $L_0 = \ell \cdot N_n$ есть величина потребления нити за 1 оборот игольного цилиндра.

Причем для петельных структур ℓ есть длина петли, для уточной протяжки нити $\ell = t_u$, а для других – некоторая средняя величина, отнесенная к "одной игле" (точки координат), зависящая от графика прокладывания нити в раппорте переплетения R.

Для платированного и плюшевого переплетения, когда структурная ячейка равна структурной единице полотна $n_w = n_c = 1$, можно определить, пренебрегая растяжимостью, скорость подачи (или потребления) нити:

– для петли грунта

$$V_1^* = \ell_1^* N_n n \cdot 10^{-3}, \text{ М/МИН},$$

– для петли платированной плюшевой

$$V_2^* = k_{e2} \ell_1^* N_n n \cdot 10^{-3}, \text{ М/МИН}.$$

Если платированная нить растяжима и подается с натяжением T_0 , то скорость подачи должна учитывать деформацию, при этом будет:

$$V_2 = k_{e2} \ell_1 (1 + \alpha T_0) N_n n \cdot 10^{-3}, \text{ М/МИН}.$$

Аналогично, если нить грунта растяжима (эластомерная нить), а растяжимостью плюшевой нити можно пренебречь (хлопчатобумажная пряжа), то должно быть:

$$V_1 = \ell_1 (1 + \alpha T) N_n n \cdot 10^{-3}, \text{ М/МИН},$$

и фактическая скорость потребления нити будет отличаться от заданной:

$$V_2^* \neq V_2, V_1^* \neq V_1.$$

С другой стороны, если скорость подачи или потребления нити постоянна $V = \text{const}$, то с увеличением ее натяжения T_0 длина нити в петле будет соответственно уменьшаться, так как

$$\ell = \frac{V}{(1 + \alpha T) N_n n} \cdot 10^3, \text{ мм}.$$

Например, экспериментально было установлено, что при использовании пневмосоединенной комплексной эластомерной нити ее длина при вязании с натяжением 10...20 сН уменьшается на 10...12%.

При измерении скорости V с учетом (1) и (2) может быть оценена при вязании также теоретическая производительность одной системы машины в час, например:

$$Q = (V_1 T_1 + V_2 T_2) \cdot 6 \cdot 10^{-5}, \text{ КГ/Ч}.$$

Из соотношения (1) для рассматриваемых переплетений можно определить дисперсию массы σ_m^2 , если известны отклонения длины нити в петле $\sigma_{\ell_1}^2$, длины "уроботки нитей" $\sigma_{\ell_2}^2$ и их линейной плотности $\sigma_{T_1}^2$ и $\sigma_{T_2}^2$, что необходимо для определения технологических допусков при нормировании сырья:

$$\sigma_m^2 = \left(\frac{\partial m}{\partial \ell_1}\right)^2 \sigma_{\ell_1}^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial \ell_2}\right)^2 \sigma_{\ell_2}^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial T_1}\right)^2 \sigma_{T_1}^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial T_2}\right)^2 \sigma_{T_2}^2.$$

При этом с достоверностью $\alpha = 0,95$ технологический допуск будет находиться в пределах $\pm 2\sigma_m$.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена процедура проектирования трикотажного полотна по заданным характеристикам заполнения материала и необходимые условия решения задачи проектирования и технологического обеспечения заданных требований в процессе вязания полотна.

2. В структурном базисе управляемых переменных получены обобщенные формулы для расчета поверхностной плотности полотна и его размеров для любых комбинированных переплетений со сложной структурной ячейкой, образованной из различных элементов переплетения и нитей (пряжи), отличающихся линейной плотностью.

3. На примере двухкомпонентных переплетений (платированных и плюшевых), наиболее типичных для производства чулочно-носочных изделий, рассмотрены ал-

горитмы реализации проектной процедуры для полотна и процесса вязания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цитович И.Г., Галушкина Н.В. Формализованное описание трикотажных полотен регулярных структур как материального объекта // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №7. С. 45...51.

2. Цитович И.Г., Галушкина Н.В. Структурный базис управляемых переменных и параметров, относящихся к описанию и проектированию трикотажных полотен и изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №1.

3. Gravas E., Kiekens P. and van Langenhove L. Predicting fabric weight per unit area of single- and double-knitted structures using appropriate software // Textile Res. J. – Vol. 6, № 4, 2006. P. 223...237.

4. Цитович И.Г., Галушкина Н.В., Бабушкина И.Е. О риске потерь при закупке сырья для трикотажного производства // Текстильная промышленность. – 2007, №11.

5. Цитович И.Г. Технологическое обеспечение качества и эффективности процессов вязания поперечновязаного трикотажа: Монография. – М.: Легпромбытиздат, 1992.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 03.06.11.