

УДК 677.025

**ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН  
РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР  
КАК МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЪЕКТА**

*И.Г. ЦИТОВИЧ, Н.В. ГАЛУШКИНА*

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

E-mail: profutex24@mail333.com

*Основываясь на методологии структурно-параметрического синтеза разработана информационная модель (ИМ) трикотажного полотна как материального объекта и "клеточной" структуры. В качестве определяющих признаков трикотажа введены понятия переплетения, структурной единицы, структурной ячейки полотна и массы единицы длины нити.*

*Being based on the methodology of structurally-parametrical synthesis, the information model (IT) of a knitted fabric as a material object of "cellular" structure is developed herein. As defining characters of jersey the concepts of weaving, a structural unit, a structural cell of a canvas and a unit mass of a thread length are entered in the article.*

**Ключевые слова:** трикотажное полотно, структурная ячейка трикотажного полотна, идентификация, информационная модель, "клеточная структура".

Внедрение информационных технологий (ИТ) предусматривает широкое использование в практике трикотажного производства инструментов информационной поддержки на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) продукции (в частности, известных инструментов автоматизированного проектирования и управления – CALS-технологий: CAD, CAM, CAE и др.) как основу для оперативного обновления трикотажной продукции, повышения качества и эффективности производства.

Основными этапами ЖЦ продукции, определяющими ее качество с точки зре-

ния соответствия продукции заданным требованиям,<sup>1</sup> являются этапы проектирования и производства продукции, включая "техническое проектирование" свойств трикотажного полотна.

Как это не парадоксально, в производстве отсутствуют какие-либо расчетные модели и процедуры на этапах проектирования параметров продукции и изготовле-

<sup>1</sup> Имея в виду, что исходные и концептуальные требования к изготавливаемой продукции определяются в результате различных видов маркетинга и инновационной деятельности.

ния изделий в соответствии с заданными требованиями<sup>2</sup> (что делает процессы не управляемыми, а менеджмент безответственным). При технологической подготовке производства доминирует затратный метод "проб и ошибок", субъективные суждения и принятие решений без какой-либо количественной оценки результатов. Это относится к управлению проектированием и оборудованием трикотажного производства. Нормирование осуществляется по факту изготовления продукции. Проектирование при этом не выходит за рамки художественно-колористического оформления полотен (рисунков, узоров) и выбора конструктивных решений по результатам анализа рынка и спроса на продукцию.

Процесс проектирования с точки зрения теории объектного и процессного подходов, как известно, реализуется в виде методологии структурного и параметрического синтеза (стандарты IDEF0, SADT и др.), информационных (ИМ) и математических моделей (ММ).

Основой для структурного и параметрического синтеза (в виде расчетных инженерных процедур, относящихся к продукции и процессам) является информационная модель (ИМ) объекта на основе его формализованного описания. Именно, прежде чем проектировать – мы должны знать "что это" (объект, процесс)<sup>3</sup>.

Построение ИМ объекта – суть отображение его структуры в виде символов и логических форм искусственного языка, некоторого алфавита (букв, цифр, символов). Иногда говорят о кодировании ниточных структур (Дзюба В.И.), кодировании узоров раппорта рисунка трикотажных полотен (Мотанов В.Г., Кудрявин Л.А.). С другой стороны, основываясь на восприятии объекта, его представлении, в основе формализации лежит некоторый образ объекта, совокупность форм и их признаков, прежде всего связанных с геометриче-

ским представлением объекта, его визуализацией различного уровня 2-D, 3-D (инструмент CAD-технологий)<sup>4</sup>. При описании объекта формализация заменяет естественный язык некоторыми символами, знаками, "сущностями". Она является основой для алгоритмизации и программирования, создания баз данных, баз знаний и экспертных систем, лежит в основе понимания, восприятия и переработки информации. Что принципиально важно: ошибки при построении ИМ переносятся в расчетные процедуры (ММ), при этом стоимость ошибок прогрессивно возрастает на всех этапах ЖЦ продукции.

Признаки и параметры формализации позволяют различать объекты, относить их к определенным категориям, более точно идентифицировать, классифицировать при количественной оценке – сравнивать и определять статистику данных, диагностировать состояние.

Постановку задачи формализованного описания основных объектов трикотажного производства с возможностью использования инструментов ИТ-технологий можно найти в работах [1...4] и других. Обобщенный подход к формализованному описанию и синтезу трикотажных переплетений на матрице бинарных отношений рассмотрен нами в работах [5], [6].

Фундаментальная задача создания ИМ, относящейся к отображению (визуализации) ниточных структур переплетений из геометрических примитивов (отображение базовых элементов и структур переплетений) выполнена в [7].

Попытка сформировать обобщенное множество ниточных структур и базовых элементов переплетений и формализовать их описание осуществлена в работе [8].

Разработанные программные продукты для описания трикотажных структур и рисунков (узоров) полотен в большинстве случаев описываются функциями рабочих органов существующих трикотажных ма-

<sup>2</sup> Во многих случаях эти требования вообще не имеют отношения к качеству трикотажного полотна.

<sup>3</sup> В этом отношении интересно определение: знание «что» и знание «как» (Г. Райл), имея в виду «что это» и «как это сделать».

<sup>4</sup> Последние решения относятся к событийной визуализации (*simulating*) с применением кубических сплайн-сегментов для описания переплетений и трикотажных полотен (*knitted fabric*) (J.M. Kaldor, D.L. James, S. Marschner, 2008).

шин. Во многих моделях для описания и проектирования используются параметры, которые не подлежат управлению и контролю (диаметры нитей, остовы петель, коэффициент незаполнения, модули петель и др.).

Авторы работ [9...11] рассматривали модель описания структур жаккардовых переплетений как совокупности петель и их элементов (остовов) и протяжек различного типа.

В общем виде считают, что ИМ построена, если она определена в структуре (множестве) базовых имен (сущностей), их отношений, в пределах обобщенных координат пространства. Таким образом, моделью дискретной системы, к которой можно отнести структуры объектов трикотажного производства, можно считать некоторое множество  $M$  с заданным набором отношений  $R$ , то есть конструкция вида  $\psi = \langle M, R \rangle$ .

Основной признак трикотажного полотна, от которого зависят его свойства, – переплетение. Необходимо отметить, что переплетение – это формализованный образ, геометрическая интерпретация формы, то есть нематериальная конструкция (платоновский объект), а трикотажное полотно (трикотаж) – материальный объект, имеющий массу и, как следствие, соответствующие физико-механические свойства и их последствия (относящиеся к уровню качества, материалоемкости, затратам и экономике). Переплетение – это лишь один из признаков идентификации трикотажного полотна.

Например, для множества переплетений  $M_S$  регулярных структур нами предложена следующая формализованная модель [5]:

$$M_S = \langle E, T_{hi}, R_e^{(s)}, R_c, R_w \rangle,$$

где  $E$  – множество базовых структурных элементов ( $E = \{e_i\}$ );  $T_{hi}$  – множество нитей;  $R_e^{(s)}$  – множество отношений элементов размерности (арности)  $s$ ;  $R_c$  и  $R_w$  – координаты положения структурных единиц

( $R_c \in R_H, R_w \in R_B$ , здесь  $R_H, R_B$  – рапорт переплетения).

Если рассматривать более сложные переплетения – в отличие от регулярных структур, трансформируемых за счет различных технологических операций, то можно ввести класс трансформируемых структур на матрице бинарных отношений  $M_{ST} = \langle M_S, M_F \rangle$ , где  $M_F$  – множество функций трансформации элементов структуры (сдвиг, перенос, сброс и др.)<sup>5</sup>.

Указанные модели позволяют идентифицировать любое переплетение и классифицировать их по определенным признакам.

Рассмотрение трикотажного полотна как материального объекта в отличие от переплетений и узоров требует введения дополнительных признаков его идентификации при описании и анализе.

Для текстильных материалов (тканей, трикотажа) геометрическим образом является их клеточная структура, которая позволяет составлять патроны рисунков (узоров), отличающихся по цвету или виду различных нитей и переплетений, образующих полотно. Как показано в [12], для любой повторяющейся совокупности клеток (различных геометрических форм раппортов) возможно в единой числовой унифицированной форме (в виде поля вязания) кодировать процесс узоробразования и преобразовывать код в программу работы узоробразующих механизмов. На этой основе автором была построена общая теория периодических узоров при вязании многоцветных (главным образом жаккардовых) структур трикотажных полотен, позволяющая значительно расширить геометрические формы раппортов и возможности художественно-колористического оформления трикотажной продукции.

Объект нашего рассмотрения – трикотажное полотно (Fabric, F) (трикотаж) – материальный объект.

<sup>5</sup> Галушкина Н.В. Синтез структур и оценка параметров эффективности изготовления трикотажных изделий. Дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005.

Простейшая модель трикотажного полотна – клеточная: с равномерной сетью клеток, образующих клеточное поле трикотажа. Совокупность клеток, расположенных по горизонтали, – суть петельные ряды, а по вертикали – петельные столбики. Аналогом процесса формирования такой геометрической конструкции является клеточно-автоматная модель: неделимым элементом поля которой является клетка – структурная единица – из которых строятся кластеры (совокупности) клеток и более сложные конфигурации клеточных структур (ячеек) [ 13 ].

Координаты клеточного поля как двумерного массива трикотажа могут быть отнесены к координатным осям  $R_c$  и  $R_w$  положения петельных рядов (course) и петельных столбиков (wale), каждой точке пересечения которых  $x_i$  и  $x_j$  можно поставить в соответствие номер иглы ( $N_N$ ), на

которой образуется ниточная структура клетки (из базовых структурных элементов), и номер петельного ряда ( $N_R$ ) трикотажного полотна. В общем виде трикотажное полотно – это регулярная структура различного уровня в пределах всего полотна или его заданной области (участка): от простейшей "клетки" ("единицы"), состоящей из одного элемента, в частности, петли, до сложной ее конструкции, состоящей из нескольких элементов (компонент) ( $n_u$ ). Это может быть совокупность двух элементов петель (платированное переплетение), петли и наброска (прессовое переплетение), петли и протяжки (жаккардовое переплетение); трех и более элементов: петля, протяжка, плюшевая петля и т.п. и любые другие пересечения элементов кулирных и основовязанных, в том числе и их сочетания (рис. 1-а, б).

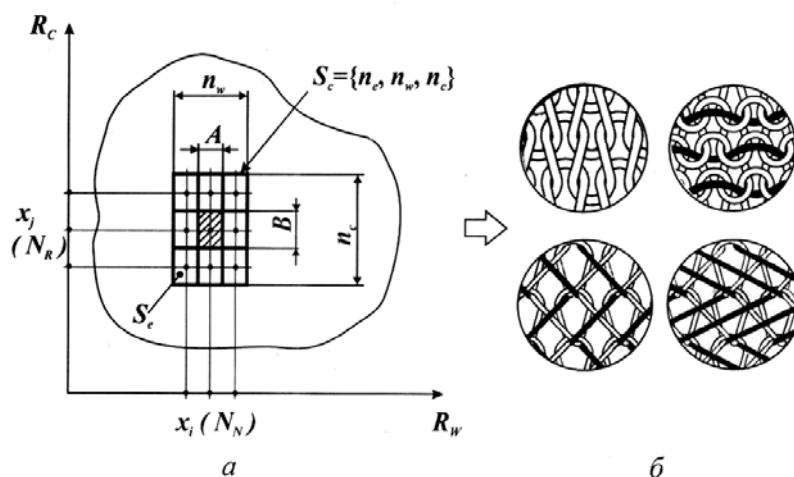


Рис. 1

Что существенно, что процесс вязания таких клеток в дискретном поле состояний на каждом шаге зависит от состояния ее предыдущих "соседей" (правил наследования) и некоторой рабочей функции (реализации входного сигнала), что может быть использовано при создании имитационной модели процесса вязания<sup>6</sup>.

Из совокупности различных по строению клеток можно сформировать более сложную совокупность (комплекс) –

структурную ячейку  $S_c$  с размерностью  $n_w$  и  $n_c$  в координатах клеточного поля и количеством структурных единиц  $n_e$ . В качестве метрики ячейки  $S_c$  можно также ввести количество образующих ее клеток (структурных единиц  $S_e$ ).

Развитие и исследование свойств трикотажных полотен показывает, что именно от метрических характеристик структурной ячейки (единицы) и характеристик распределения массы по ее площади зависят все основные физико-механические свойства материала. Как следствие, созда-

<sup>6</sup> Цитович И.Г., Колесов Б.В., Инихов Д.Б. // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 1991, №4. С.84...88.

ются машины и технологии, где для получения структурной ячейки все более широкого диапазона размеров и сложности используются различные способы: изменение классов машин, применение различных видов сырья, возможности образования все новых структурных элементов и их трансформации.

Таким образом, нами в качестве основной характеристики трикотажного полотна (Fabric, F) рассматривается его повторяющаяся структурная ячейка  $S_c$  (cell). Регулярность структур позволяет вместо полотна или изделия в целом изучать свойства его структурных единиц или структурных ячеек (!)<sup>7</sup>.

С учетом клеточной структуры трикотажа в качестве метрических структурных параметров полотна (трикотажа), образованного переплетением  $m_s$  ( $m_s \in M_s$ ) из элементов  $e_i \in E$ , при образовании которых использованы нити  $th_i \in Th$  (в простейшем случае из одной нити  $th$ ) можно ввести следующие в том числе известные метрики:

– Параметры структурной единицы  $S_e$ : петельный шаг  $A$ , мм; высота петельного ряда  $B$ , мм; размерность структурной единицы по количеству образующих ее элементов  $n_u$ .

– Размерности структурной ячейки  $S_c$  (cell) трикотажного полотна:  $n_e$  – количество элементов  $n_e \in E = \{e_i\}$ <sup>8</sup>;  $n_w$  и  $n_c$  – размеры в координатах  $R_c$  и  $R_w$  клеточного поля полотна.

– Длину  $l_i$  базовых структурных элементов  $e_i$ , мм, образующих структурную ячейку полотна.

– Массу единицы длины для каждой из нитей  $m_{0i} = T_i \cdot 10^{-6}$ , г/мм, где  $T_i$  – линей-

ная плотность нити, образующей элемент  $e_i$  переплетения<sup>9</sup>.

Абсолютные размеры  $C_b$ ,  $C_n$  ячейки  $S_e$  являются зависимыми от параметров ячейки ( $n_w$  и  $n_c$ ) и метрик структурной единицы ( $A$  и  $B$ ).

Таким образом, трикотажное полотно  $F$  (Fabric) как реальный объект может быть представлено в виде формализованной конструкции:

$$F = \langle m_s, S_c, A, B, l_i, m_{0i} \rangle,$$

основными признаками которой является переплетение  $m_s \in M_s$ , структурная ячейка  $S_c$  (в частном случае  $S_c = S_e$ ), параметры  $A$  и  $B$  трикотажа,  $l_i$  – длина нити в базовых элементах  $e_i$  и масса единицы длины  $m_0$  образующих переплетение нитей  $th$ .

При этом структурная ячейка  $S_c$  (или для простых переплетений структурная единица  $S_e$ ) при формализованном описании будет определена как совокупность базовых элементов определенного вида  $e_i \in E$  из нитей  $th_i \in Th$  на множестве чисел (координат)  $n_e$ ,  $n_w$  и  $n_c$ , то есть:

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

При  $n_e = n_w = 1$  получим  $S_c = S_e$ .

Совокупность указанных переменных в информационной модели (ИМ) для  $F$  и  $S_c$  позволяет определить массу структурной ячейки и ее удельную плотность.

Если известна  $l_i$  – длина каждого из элементов структурной ячейки  $S_c$ , то можно найти ее массу:

<sup>7</sup> В механике сплошных сред такой моделью являются элементарные кристаллические ячейки.

<sup>8</sup> В теории строения трикотажа определена закономерность, имеющая практическое приложение – количество петель в единице площади полотна обратно пропорционально квадрату длины нити в петле:  $n = \frac{k_s}{l^2}$ , где  $k_s$  – определенная константа.

<sup>9</sup> Важнейшим признаком полотна является цвет нитей, который необходимо включить в модель переплетения при формировании цветовых свойств и эффектов, имея в виду также количественную оценку этого признака.

$$m_c = \sum_{i=1}^{n_e} m_i l_i = 10^{-6} \sum_{i=1}^{n_e} l_i T_i, \text{ г} \quad (1)$$

и поверхностную плотность ячейки трикотажного материала  $\rho_c$ :

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

Очевидно, что при  $T = \text{const}$ :

$$m_c = 10^{-6} n_e l T, \\ \rho = 10^{-6} \frac{n_e l T}{n_w n_c A B} = \frac{L T}{n_w n_c A B},$$

где  $l$  – средняя "длина нити" в элементах структуры;  $L$  – суммарная длина нити в структурной ячейке.

Заметим, что из (1) следует макрохарактеристика для поверхностной плотности полотна:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} l_i T_i}{n_w n_c \cdot A B}, \text{ г/м}^2. \quad (3)$$

Зная количество элементов  $n_e$  в структурной единице полотна  $S_e$  или ячейке  $S_c$ , длину элементов  $l_{ei} | i = 1, 2, K, n_e$ , всегда можно найти среднюю  $l$  длину (или уработку) нити (для кулирной глади, ластика – это ДНП  $l$ ):

$$l = \frac{\sum l_i}{n_e}, \quad (4)$$

<sup>10</sup> В зарубежной практике применяют оценку  $\rho_c$  в единицах измерения  $\text{мг/см}^2$ . Указанный показатель является важной характеристикой трикотажного материала (влияя на пористость, фильтрующую способность, биологические свойства, процессы тепловлагопереноса и многие другие физико-механические свойства).

которая отличается от ДНП базового переплетения  $l_1$ .

При формализованном описании трикотажного полотна предполагалось, что известно его переплетение  $m_s \in M_S$  и параметры  $A$  и  $B$  полотна, относящиеся к условно-равновесному или фиксированному состоянию.

Способность трикотажного полотна к значительной доли деформации в поперечном и продольном направлениях, в том числе к "фиксации" структуры при отделочных операциях (влажно-тепловой обработке), позволяет в качестве характеристик полотна ввести величину его деформации  $\varepsilon_A$  и  $\varepsilon_B$  по осям координат, которые изменяют его состояние.

Исходя из закона сохранения массы можно сформулировать следующую теорему: по деформации любой регулярной структуры по осям координат на заданную величину (например, при отделке, в том числе усадке полотна ( $\varepsilon_A$  и  $\varepsilon_B = \text{const}$ )), всегда можно определить фактическую плотность (заполнение)  $\rho_s^\phi$  структурной единицы  $S_e$  полотна по ее исходному значению  $\rho_s^0$  (в том числе в равновесном состоянии).

В наиболее типичном случае, когда не изменяется прямоугольная конфигурация структурной ячейки<sup>11</sup>, можно получить:

$$\rho_s^\phi = \frac{\sum_{i=1}^{n_e} l_i T_i}{n_c n_w \cdot A B (1 + \varepsilon_A)(1 + \varepsilon_B)}, \quad (5)$$

<sup>11</sup> Некоторые из структурных единиц могут быть пустыми, что приводит не к объединению клеток, а их расслоению (образованию ажурных (*net*) отверстий или «ячей»). Таким образом, для полотен, структурные единицы которых лишены поперечных или продольных связей, при деформации образуется не клеточная, а сетчатая (*net fabric*) с увеличенными размерами отверстий («ячей») различной формы. Соответственно изменяется геометрия и площадь структурной ячейки полотна, однако метрика  $n_e$ ,  $n_w$  и  $n_c$  и масса структурной ячейки  $m_{S_e}$  остаются без изменения.

или  $\rho_s^\Phi = \rho_s^0 \frac{1}{(1 + \varepsilon_A)(1 + \varepsilon_B)}$ , что свидетель-

ствует о том, что факторы отделки (деформации) полотна существенно изменяют его удельное заполнение и физико-механические свойства<sup>12</sup>.

В заключение отметим, что все параметры, входящие в уравнения (2), (3) и (5) имеют определенную числовую оценку для конкретного объекта, полученную в результате описания и анализа готового полотна. Для полотен одного класса переплетений, их сравнения и идентификации можно получить различные оценки, в том числе статистические, создавать базы данных.

Вместе с тем, полученные ИМ и уравнения не могут быть использованы для каких-либо проектных процедур: они позволяют более точно описывать объект, идентифицировать продукцию, например медицинского или технического назначения, которую закупают по импорту (где в качестве признаков качества часто используются несущественные признаки продукции) или их макрохарактеристики, не имеющие отношения к качеству трикотажного полотна.

## ВЫВОДЫ

1. Уточнена информационная модель (ИМ) трикотажного полотна как материального объекта и "клеточной" структуры. Сформировано множество признаков (параметров), которые идентифицируют состояние готового полотна. В качестве определяющих признаков трикотажа введены понятия переплетения, структурной единицы, структурной ячейки полотна и массы единицы длины нити.

2. Приведены формулы для расчета массы и удельной (поверхностной) плотности ячейки полотна, как ее материальной характеристики.

3. Показано, что если известны характеристики ячейки трикотажного полотна в заданном состоянии, то по величине де-

формации полотна в продольном и поперечном направлениях можно определить его фактические характеристики материалоемкости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявин Л.А. Автоматизированное проектирование основных параметров трикотажа (с использованием ЭВМ): Учебное пособие для вузов. – М.: Легпромбытиздат, 1992.
2. Шалов И.И., Кудрявин Л.А. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР. – М.: Легпромбытиздат, 1989.
3. Колесникова Е.Н. Основы автоматизированных методов проектирования технологии петлеобразования. – М.: ТОО "Оргсервис ЛТД", 2000.
4. Бронз Г.А. Разработка основ оптимального проектирования трикотажа: Монография. – Димитровград: ДИТУД УлГТУ, 2003.
5. Цитович И.Г., Андреев А.Ф., Галушкина Н.В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №1. С.74...80.
6. Цитович И.Г., Галушкина Н.В., Краснова С.М., Ануров М.В., Туткова С.М. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №3. С. 72...76.
7. Дзюба В.И. Формализации регулярных ниточных структур в САПР текстильных изделий: Монография. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2002.
8. Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа. – М.: Легкая индустрия, 1973.
9. Brackenbury T. // J. Textile Inst. and Ind. – 1972. V.10, №5. P.142...145.
10. Kidacki H. and Dyson E. // Hosiery Trade J. – 1972. V.79, №947. P.112...116.
11. Fahmy A.H., Newton A. // J. Textile Inst. – 1976, №2. P.50...54.
12. Мотанов В.Г. Теория строения и расчета возможных геометрических раппортов периодических узоров на трикотаже: Учебное пособие. – М.: МТИ, 1988.
13. Тоффоли Т., Марголюс Н. Машины клеточных автоматов. – М.: Мир, 1991.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 12.06.10.

<sup>12</sup> При необходимости можно учесть деформацию нити  $\varepsilon_1$ , тогда фактическая линейная плотность нити может иметь оценку  $T_\Phi = T(1 + \varepsilon_1)$ .