

УДК 677.025

**ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУР
ОСНОВОВЯЗАННЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ
ХИРУРГИЧЕСКИХ СЕТОК***И.Г. ЦИТОВИЧ, Н.В. ГАЛУШКИНА, С.М. КРАСНОВА, М.В. АНУРОВ, С.М. ТИТКОВА***(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина,
Центральная научно-исследовательская лаборатория
Российского государственного медицинского университета)**

В настоящее время трикотажные основовязанные материалы из синтетических волокон широко используются для изготовления сетчатых эндопротезов, называемых также хирургическими сетками. Эти изделия с большим успехом применяются в хирургии в качестве имплантатов при ненатяжных способах пластики грыж передней брюшной стенки. В России ежегодно проводится более 100 тысяч подобных операций, в мире их количество приближается к 2 млн. Повсеместное внедрение ненатяжная герниопластика получила благодаря использованию основовязанных полипропиленовых сеток, которые позволили минимизировать операционную травму, значительно уменьшили продолжительность стационарного лечения, сделали возможным проведение операции в амбулаторных условиях и сократили период профессиональной реабилитации пациентов. Вместе с тем опыт применения полипропиленовых сетчатых эндопротезов выявил ряд специфических осложнений, которые были связаны с имплантатом. Статистика неудовлетворительных результатов показала, что только в небольшом числе случаев они были спровоцированы несоблюдением хирургами операционной методики или нарушением пациентами предписанного режима, главным образом, характер и тяжесть осложнений зависели

от типа имплантированного сетчатого эндопротеза [1], [2]. Экспериментальные исследования, проведенные в этом направлении, подтвердили, что нарушение процессов интеграции хирургической сетки в ткани передней брюшной стенки является следствием различного строения материала, определяемого видом переплетения, линейной плотностью нити, наличием тех или иных изогнутых компонентов нити и их соединений (связей) [3], [4].

Идентификация хирургической сетки по названию не всегда позволяет специалистам найти достаточное количество обоснованных публикаций, чтобы правильно оценить ее структурные характеристики и биологические свойства. Любая трикотажная конструкция сетки на основании технологического анализа может быть отнесена к определенному классу и виду основовязанных переплетений (трико-сукно, атлас-атлас, сукно-атлас и др.) и таким образом установлена причинно-следственная связь между структурой и осложнением. Но, как нами было установлено, простейшее (из класса главных) переплетений трико-сукно может быть реализовано на множестве технологических решений, количество вариантов (мощность решения) составляет 64. Для того, чтобы упростить процедуру создания новых трикотажных структур, оптимизированных по

своим механическим и биологическим свойствам, требуется однозначная идентификация (уникальное имя) любого трикотажного переплетения с описанием структуры в компьютерной среде, выполненное не в семантической (языковой) форме, а в формализованном математическом виде.

Известно, что любая структура, состоящая из множества элементов, может быть рассмотрена как алгебраическая. При этом удобным аппаратом описания является матрица бинарных отношений [5]. Одна из основных задач поставленной работы сводится к определению повторяющейся структурной ячейки основовязаного полотна (structural knitted cell, SKC) и ее идентификации как совокупности базовых структурных элементов¹. Работа в основном была направлена на идентификацию регулярных (однородных) структур, содержащих повторяющиеся структурные ячейки трикотажного полотна в рамках исследований, связанных с применением основовязанных сеток в хирургии.

Для основовязанных переплетений (аналогично кулирным [6]) определено множество $M_e = \{e_i | i = 1, 2, \dots, E\}$ базовых структурных элементов $e_i \in M_e$, с учетом того, что они образуют ортогональное пространство признаков, могут быть параметрически заданы и при анализе определены в числовом виде.

При создании данного множества исходили из того, что элементами структуры трикотажа являются петли разного вида, а остовы являются элементами петель, поэтому они не были внесены во множество. Элементы множества созданы путем построения их из геометрических примитивов (дуг, отрезков, прямых) с учетом их геометрического сопряжения и соединения в более сложные конструкции. Они с большой вероятностью могут быть использованы при формировании различных структур основовязанных трикотажных переплетений.

¹ Обычно в качестве повторяющегося подмножества элементов рассматривают раппорт переплетения как повторяющуюся закономерность прокладывания нити при вязании полотна.

На основании анализа строения основовязанных переплетений можно выделить три вида петель (петли цепочки, петли поворотные и промежуточные). Петли, как известно, могут быть открытыми/закрытыми, правыми/левыми. Также определены два вида протяжек (диагональные и уточные). В случае прокладывания уточных нитей не на всю ширину полотна они образуют различного вида дуги в местах изменения направления. Эти элементы учтены при создании базового множества.

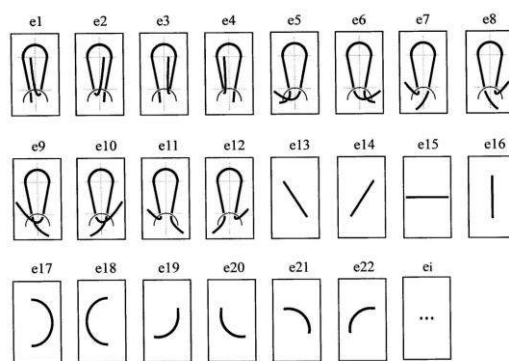


Рис. 1

Полученное множество M_e структурных элементов представлено на рис. 1. Оно состоит из 22 базовых элементов и может быть расширено.

На основании применения аппарата дискретных множеств можно однозначно формализовать переплетения в виде семантической конструкции (кортежа) $M_p = \langle T_h, M_e, R_e^{(s)}, K_x, K_y \rangle$ на элементном базисе $M_e = \{e_i | i = 1, 2, \dots, E\}$, где $R_e^{(s)}$ – отношение базовых элементов на матрице бинарных отношений (в общем виде s -арные), а K_x, K_y – координаты положения элементов в направлении осей x, y .

В результате развития теории и практики проектирования основовязанных переплетений и технологического оборудования для производства основовязаного полотна из множества элементов M_e созданы множества основовязанных базовых переплетений M_p , реализуя логическую схему проектирования $M_e \rightarrow M_p$. К таким базовым переплетениям могут быть отнесены

известные: цепочка, трико, сукно, шарме, атлас и др., комбинирование которых позволяет получать более сложные переплетения, множество M_k которых может быть представлено в виде матрицы бинарных отношений на более высокого уровня базовом множестве переплетений $M_p = \{p_j | j=1, 2, \dots, P\}$ (рис. 2 – матрица бинарных отношений M_k на множестве базовых переплетений M_p).

$M_k =$

M_p p_i	p_0	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	...
p_0	1							
p_1	ЦЕ-ПОЧКА (P1,P0)							
p_2	ТРИКО			ТРИКО-СУКНО (P2,P3)				
p_3	СУКНО				СУКНО-ШАРМЕ (P3,P4)			
p_4	ШАРМЕ							
p_5	АТЛАС							
p_6	УТОЧ-НЫЕ							
...	...							

Рис. 2

Каждой строке и столбцу сопоставлен элемент p_j множества M_p , таким образом, что любая клетка (i, j) матрицы может быть представлена в виде логического пересечения базовых переплетений, а более сложные конструкции – их суммирование.

Для отображения одинарных переплетений и комплексов, содержащих нечетное количество переменных, в матрицу был введен единичный элемент p_0 , так чтобы $p_j \cap p_0 = p_j$.

Таким образом, любое комбинированное переплетение на матрице бинарных отношений, аналогично кулирным переплетениям, может быть представлено в виде унарных, бинарных и n-арных отношений, отображая одно-, двух- и многогрбе-точные переплетения.

Если все переплетения отнести к комбинированию известных структур, то их множество будет представлено в виде $M_k = \langle M_p, R_p^{(s)} \rangle$, где $R_p = \bigcap \bigcup P_i P_j$, а индекс "s" характеризует арность отношений.

Таким образом, логически осуществляется переход с уровня множества M_e к множеству базовых переплетений M_p и множеству M_k , то есть $M_e \rightarrow M_p \rightarrow M_k$.

Такая модель позволяет определять мощность всех технологических решений на множестве структурных элементов $M_e = \{e_i | i=1, 2, \dots, E\}$ и матрице бинарных отношений M_k базовых переплетений $M_p = \{p_j | j=1, 2, \dots, P\}$, а также более продуктивно производить поиски новых решений и их параметрический расчет. Мощностью всех решений является декартово произведение множеств $M = M_k \times M_e$ в координатах раппорта R_b, R_h переплетений. Например, для переплетения трико-сукно мощность решения равна 64^2 .

Методология синтеза переплетений регулярных структур на матрице бинарных отношений реализована в виде компьютерной версии при работе в режиме экспертной системы на базе программы синтеза кулирных переплетений [6]. Указанная программа была модифицирована для визуализации и проектирования основываемых переплетений.

Программа позволяет осуществлять "сборки" структурных элементов в комплексы (ячейки), реализовывать визуализацию полотна и отображать результаты синтеза в виде формализованной структуры. Результатом проектирования являются: размер раппорта переплетения R_b и R_h , количество и вид применяемых нитей t_h , количество элементов n в ячейке полотна и ее размер C_b и C_h (рис. 3 – окно программы по описанию и структурному синтезу основываемых переплетений).

² При этом каждое переплетение имеет свое имя.

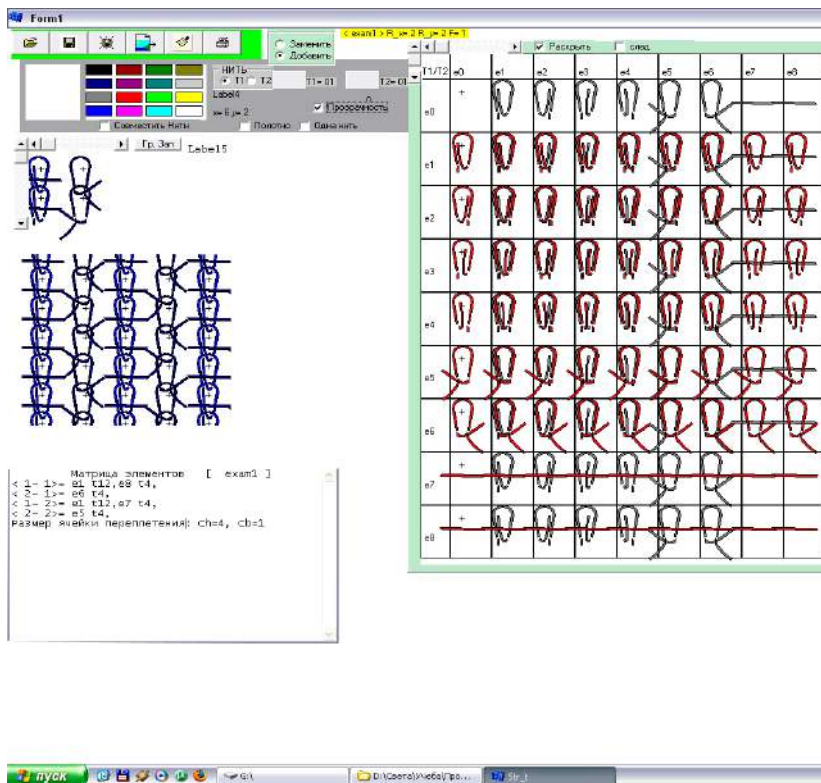


Рис. 3

Необходимо сказать, что раппорт прокладывания нитей R_b , R_h отличается по размерам от структурной ячейки C_b , C_h (единицы полотна)³. Например, для переплетения атлас, размер структурной ячейки $C_h = R_h = 4$, а $C_b = 1$, в то время как раппорт прокладывания нити: $R_b = 3$, а $R_h = 4$ (рис. 4 – размеры структурной ячейки полотна и раппорт прокладывания нити переплетения атлас).

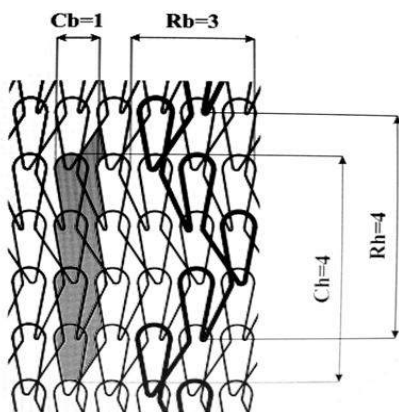


Рис. 4

³ Отметим, что свойства полотна определяются именно наличием определенных элементов и их связей в ячейке полотна.

Любое полученное решение как информационная модель может быть представлено в виде кортежа (упорядоченной совокупности) определяющих признаков:

$$\langle \text{переплетение } m_i \in M_k \rangle ::= \langle \text{имена элементов, } e_i \in E \rangle \langle \text{тип нити, } t_h \in T_h \rangle \langle \text{тип логического отношения, } R_c^{(s)} \rangle \langle \text{координаты } K_x, K_y \rangle,$$

которые единственным образом идентифицируют переплетение, в том числе определяют управляющую технологическую программу.

В качестве меры сложности структуры ячейки основываемых сеток и их сравнения можно вводить различные критерии, такие как характеристики пересечения элементов структуры, показатели защемления и др.

Если каждому элементу e_i базового множества, образующего структурную ячейку SKC, присвоить численное значение, представляется возможным рассчитать основные характеристики трикотажа. Исследование структурной ячейки позволяет анализировать: пористость, статистику микропор, пересечения элементов и др.,

как важные характеристики биологических свойств основовязанных сеток.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что существующее описание основовязанных переплетений базируется на формализованном описании, основанном на графическом и цифровом отображении процессов кладки нитей, то есть реализуется по схеме процесс→переплетение и относится к задаче анализа технологических возможностей существующих основовязальных машин. Указанный подход ограничивает возможность создания (синтеза) новых переплетений, процессов и технологических машин.

2. Уточнено базовое множество элементов структуры трикотажа как независимых переменных. Остовы петель рассмотрены как их элементы и выведены за пределы базового множества. Это позволило сократить количество переменных и найти мощность решений при синтезе переплетений. Уточнено базовое множество переплетений основовязанного трикотажа.

3. Предложено множество всех переплетений рассматривать на матрице бинарных отношений как унарные, бинарные и n-арные в зависимости от количества систем нитей, участвующих в процессе петлеобразования.

4. Показано, что структурные ячейки основовязанных трикотажных переплетений отличаются по координатам от раппорта прокладывания нитей в переплетении. Поскольку структурные элементы метриче-

ски определены, то по структурной ячейке представляется возможным проектировать параметры основовязанных полотен.

5. При гистологическом исследовании хирургических сеток установлено, что по координатам ячейки сетчатого полотна представляется возможным более точно определять тканевую реакцию с учетом элементов структуры переплетения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Conze J., Kingsnorth AN., Flament JB., Simmermacher R., Arlt G., Langer C., Schippers E., Hartley M., Schumpelick V. Randomized clinical trial comparing lightweight composite mesh with polyester or polypropylene mesh for incisional hernia repair. // Br J Surg. – 2005. Dec. 92(12). P.1488...1493.

2. Klosterhalfen B., Junge K., Klinge U. The lightweight and large porous mesh concept for hernia repair. // Expert Rev Med Devices. – 2005. Jan. 2(1). P.103...117. Review.

3. Ануров М.В., Титкова С.М., Цитович И.Г., Галушкина Н.В. Влияние текстильной структуры сетчатых эндопротезов на эффективность реконструкции передней брюшной стенки в эксперименте // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2008.

4. Conze J., Rosch R., Klinge U., Weiss C., Anurov M., Titkova S., Oettinger A., Schumpelick V. Polypropylene in the ultra-abdominal position: influence of pore size and surface area. // Hernia. – 2004. Dec. 8(4). P.365...372.

5. Горбатов В.А. Основы дискретной математики: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1986.

6. Цитович И.Г., Андреев А.Ф., Галушкина Н.В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №1. С.74...80.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 07.10.08.