

УДК 677.024.001.18

**АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ
МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ, СТРУКТУРОЙ ПАКОВКИ
И СВОЙСТВАМИ НИТЕЙ ПРИ ПЕРЕМАТЫВАНИИ
НА ОСНОВЕ БИНАРНОЙ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ**

С.Д.НИКОЛАЕВ, И.Н.ПАНИН, М.В.НАЗАРОВА

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косыгина,
Димитровградский институт технологии, управления и дизайна,
Камышинский технологический институт)

При исследовании перематывания нитей и пряжи приходится сталкиваться с многообразием факторов, воздействующих на данный технологический процесс, и многообразием связей между этими факторами. В [1,2] для этих целей предлагалось использовать бинарную причинно-следственную теорию информации, основанную на предпосылках Шеннона.

В настоящей работе решалась задача установления взаимосвязи между технологическими параметрами перематывания нитей на паковку, их параметрами строения и свойствами. В [3] применяли всего 4...6 факторов. Использовать большее их количество практически невозможно ввиду сложности выполнения расчетов. Поэтому нами составлена программа расчета на ПЭВМ на языке программирования СИ, способная рассчитать любую матрицу.

Изучались два вида мотальных паковок: первая – обычная крестовой намотки, получаемая на мотальных машинах М-150; вторая – паковки, полученные на специальном стенде-автомате с постоянным углом сдвига витков. Паковки имели различный сырьевой состав: нить комплексная с добавками электропроводящего волокна (ЭПВ) 80 текс, бобины сомкнутой и крестовой намоток; хлопчатобумажная нить 40 текс, бобины сомкнутой и крестовой

намоток; лавсановая нить 25 текс, бобины сомкнутой и крестовой намоток.

При исследовании брали следующие факторы: разрывную нагрузку P_p нити, Н; среднеквадратическое отклонение σ_{P_p} по разрывной нагрузке; разрывное удлинение L_p , мм; среднеквадратическое отклонение σ_{L_p} по разрывной нагрузке; диаметр D бобины, мм; линейную плотность T пряжи, текс; среднеквадратическое отклонение σ_T по линейной плотности; удельную плотность ρ намотки бобин, г/см³; среднеквадратическое отклонение σ_ρ по удельной плотности намотки бобин; угол ψ сдвига витков, град; угол 2α скрещивания витков, град; среднеквадратическое отклонение $\sigma_{2\alpha}$ по углу скрещивания витков; коэффициент f тангенциального сопротивления; среднеквадратическое отклонение σ_f по коэффициенту тангенциального сопротивления; число циклов n_n до разрушения нити при истирании, количество циклов; среднеквадратическое отклонение σ_{n_n} по величине числа циклов до разрушения нити при истирании; число циклов n_p до разрушения нити при многократной нагрузке, количество циклов; среднеквадратическое отклонение σ_{n_p} по величине числа циклов до разрушения нити при многократной нагрузке; жесткость нити, $C=P_p/L_p$, Н/мм.

В [1...3] получено, что по значению энтропии можно определить направленность причинно-следственных связей между исследуемыми факторами. Установление таких связей помогает при контроле и оптимизации технологических процессов обращать внимание на факторы, в наибольшей степени влияющие на выходные функции.

Однако в [1...3] отмечено, что истинное влияние факторов друг на друга можно оценить по частным коэффициентам причинного влияния. Для определения на-

званных коэффициентов необходимо решить систему нелинейных уравнений, состоящую из большого количества уравнений (при 4 факторах – это 6 уравнений, при 5 факторах – 10 уравнений, при 6 факторах – 15 уравнений и т.д.). Для решения таких систем нами использован один из известных пакетов прикладных программ "Eureka".

В результате расчетов получены значения энтропии исследуемых факторов, представленные в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Фактор	Сомкнутая намотка			Обычная намотка		
		комплексная нить	хлопчато-бумажная	лавсановая	комплексная нить	хлопчато-бумажная	лавсановая
1	D	3,495	3,495	3,495	3,495	3,495	3,495
2	T	3,495	3,018	3,729	3,495	2,500	3,495
3	σ_T	2,942	2,267	2,260	2,826	2,817	2,675
4	ψ	3,495	3,670	3,493	1,625	1,589	1,907
5	2α	1,716	1,816	1,875	1,716	2,038	1,981
6	$\sigma_{2\alpha}$	1,589	1,625	1,589	3,495	1,816	3,459
7	Q	2,768	2,160	2,758	1,589	1,980	1,944
8	σ_Q	2,990	2,138	2,246	1,462	1,462	1,398
9	f	3,002	2,468	2,923	2,388	3,107	2,901
10	σ_f	3,186	2,836	3,455	2,541	3,472	3,025
11	P_p	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398
12	σ_{P_p}	1,525	1,462	1,525	1,525	1,462	1,625
13	L_p	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398
14	σ_{L_p}	1,525	1,462	1,462	1,462	1,462	1,462
15	n_p	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398	1,398
16	σ_{n_p}	1,525	1,462	1,462	1,589	1,462	1,398
17	n_n	1,398	1,398	1,462	1,398	1,398	1,462
18	σ_{n_n}	1,525	1,462	1,398	1,462	1,398	1,462
19	C	3,201	3,285	3,443	3,129	2,820	3,561

Анализ данных значений позволяет построить графы причинно-следственных связей в процессе перематывания пряжи (ориентированный граф причинно-следственных связей 19 факторов имеет громоздкий вид и вследствие этого в статье не приводится) и сделать следующие выводы.

Для бобин с сомкнутой намоткой:

- максимальную энтропию имеют такие факторы, как угол сдвига витков, диаметр бобины и линейная плотность утка; угол сдвига в конечном итоге является причиной всех других факторов (параметров структуры и свойств исследуемых нитей);

- минимальное значение энтропии имеют свойства нитей (разрывная нагрузка, разрывное удлинение, стойкость нитей к многократным нагрузкам и истиранию); в конечном итоге мы всегда стремимся к тому, чтобы получить нить с наперед заданными свойствами, которые и определяют поведение нитей в дальнейших технологических процессах ;

- параметры формируемой структуры определяют основные свойства исследуемых нитей; это вытекает из того, что энтропия параметров структуры паковок больше энтропий показателей свойств нитей;

- неравномерность всех параметров структуры и свойств нитей (за исключением угла скрещивания нитей на бобине) является причиной параметров структуры и свойств нитей, так как энтропии показателей неравномерности выше; это еще раз свидетельствует о важной роли в технологических процессах не столько абсолютных значений показателей, сколько значений их неравномерности;

- угол скрещивания витков, наоборот, является причиной неравномерности, это связано с тем, что угол скрещивания витков для бобин сомкнутой намотки непостоянная величина и он является следствием других параметров структуры;

- удельная плотность намотки нитей на бобине зависит от многих факторов, прежде всего, от угла сдвига витков, диаметра нити на паковке, линейной плотности нити

и их неравномерности, вида волокнистого состава (коэффициента трения и его неравномерности);

- угол сдвига витков и удельная плотность намотки являются причинами угла скрещивания витков, что существенно важно; на обычной машине угол скрещивания витков, оставаясь постоянной величиной, и зависящий от соотношения скоростей перематывания в поступательном и вращательном движениях, создает в паковке определенные "воздушные промежутки", которые уменьшают массу паковки и создают большую неравномерность удельной плотности по мере изменения диаметра; в данной же паковке угол скрещивания витков "подвижен", он принимает такие значения, которые позволяют получить максимально возможную массу при определенном объеме паковки;

- значение энтропий у всех свойств нитей и их неравномерностей практически одинаковые; это свидетельствует о том, что свойства нитей не зависимы друг от друга, и еще раз объясняет тот факт, что необязательно нити с лучшими полуцикловыми характеристиками будут иметь наилучшие показатели при многократном растяжении и истирании.

Для обычной бобины:

- параметры структуры паковки зависят от целого ряда факторов: диаметра паковки, линейной плотности нити, коэффициента пропорциональности s , коэффициента трения и неравномерностей по этим характеристикам; в отличие от бобин сомкнутой намотки ни один из важнейших параметров структуры (угол скрещивания витков, угол сдвига витков, удельная плотность наматывания) не имеет максимального значения энтропии;

- удельную плотность намотки на обычной бобине предопределяет угол скрещивания витков: в связи с тем, что угол скрещивания витков в данном случае зависит от соотношения скоростей в поступательном и вращательном движениях, его значение по мере формирования паковки стабильно; неравномерность удельной плотности нитей в данном случае яв-

ляется следствием удельной плотности намотки нити на бобину;

– в отношении комплексной нити угол сдвига витков и угол скрещивания определяют плотность намотки, а для хлопчатобумажной и лавсановой паковок угол скрещивания витков и удельная плотность намотки предопределяют угол сдвига витков; но во всех случаях угол сдвига витков является следствием угла скрещивания; для формирования нормальной паковки необходимо для обычной бобины образовывать различные углы сдвига витков (конструктивно это осуществляется за счет работы электропрерывателя);

– как и для бобин сомкнутой намотки, энтропия всех свойств нитей имеет минимальные значения; следовательно, все параметры структуры являются причиной и предопределяют свойства нитей на паковках; аналогичны причинно-следственные связи между свойствами и характеристиками неравномерности этих свойств, неравномерность свойств нитей является причиной средних значений свойств нитей;

– как и для бобин сомкнутой намотки, энтропии всех свойств примерно равны между собой, что говорит об отсутствии

причинно-следственных связей между отдельными показателями свойств.

Приведенный анализ показывает различие в причинно-следственных связях между параметрами структуры и свойствами нитей в бобинах обычной и сомкнутой намотки. В бобинах обычной намотки угол скрещивания витков является более стабильным и от этого фактора зависят в дальнейшем остальные параметры структуры; при этом бобина формируется в более сложных условиях, нежели при образовании сомкнутой намотки, когда первичным является угол сдвига витков. Это принципиальное отличие и приводит к различию во внешнем виде паковки. Бобины сомкнутой намотки имеют более компактную форму, они более вместимы.

Проведем анализ и установим причинно-следственные связи между 4 факторами: углом скрещивания, углом сдвига витков, удельной плотностью намотки, выносливостью нитей к многократным нагрузкам.

Результаты расчета информации, парных и частных коэффициентов причинного влияния приведены в табл. 2.

Таблица 2

Причинно-следственная связь	I_{ij}	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij}-g_{ij}$
$2\alpha \rightarrow \psi$				
Сомкнутая намотка				
Комплексная	0,580	0,337	0,266	0,071
хлопчатобумажная	0,407	0,224	0,125	0,099
лавсановая	0,653	0,348	0,298	0,050
Обычная намотка				
Комплексная	1,196	0,697	0,697	0
хлопчатобумажная	1,100	0,540	0,267	0,273
лавсановая	0,999	0,509	0,244	0,265
$2\alpha \rightarrow \rho$				
Сомкнутая намотка				
Комплексная	0,930	0,325	0,325	0
хлопчатобумажная	0,979	0,453	0,453	0
лавсановая	0,894	0,324	0,324	0
Обычная намотка				
Комплексная	1,205	0,759	0,213	0,546
хлопчатобумажная	0,961	0,485	0,485	0
лавсановая	1,003	0,514	0,514	0

Причинно-следственная связь	I_{ij}	Γ_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij}-g_{ij}$
$2\alpha \rightarrow n_p$				
Сомкнутая намотка				
Комплексная	1.280	0.914	0.914	0
хлопчатобумажная	1.244	0.890	0.890	0
лавсановая	1.205	0.879	0.879	0
Обычная намотка				
Комплексная	1.278	0.914	0.109	0.805
хлопчатобумажная	1.172	0.838	0.173	0.665
лавсановая	1.177	0.805	0.196	0.609
$\psi \rightarrow \rho$				
Сомкнутая намотка				
Комплексная	0.610	0.219	0.219	0
хлопчатобумажная	0.472	0.218	0.218	0
лавсановая	0.427	0.155	0.155	0
Обычная намотка				
Комплексная	1.244	0.783	0.783	0
хлопчатобумажная	1.115	0.563	0.563	0
лавсановая	1.003	0.516	0.516	0
$\psi \rightarrow n_p$				
Сомкнутая намотка				
Комплексная	0.700	0.500	0.111	0.389
хлопчатобумажная	0.515	0.368	0.080	0.288
лавсановая	0.651	0.483	0.096	0.387
Обычная намотка				
Комплексная	1.317	0.942	0.396	0,546
хлопчатобумажная	1.326	0.948	0,948	0
лавсановая	1.181	0.808	0.808	0
$\rho \rightarrow m_p$				
Сомкнутая намотка				
Комплексная	0.930	0.666	0.369	0.297
хлопчатобумажная	1.133	0.811	0.408	0.403
лавсановая	0.892	0.811	0.526	0.285
Обычная намотка				
Комплексная	1.326	0.697	0.697	0
хлопчатобумажная	1.187	0.849	0.315	0.534
лавсановая	1.172	0.802	0.385	0.417

Правомерность выбора этих факторов очевидна: угол скрещивания и угол сдвига витков принципиально характеризуют структуру двух типов исследуемых паковок, удельная плотность наматывания – параметр, характеризующий качество паковок, а выносливость нитей к многократным нагрузкам – одно из свойств нитей, в наибольшей степени определяющий дальнейшие технологические процессы.

Проанализируем результаты расчета из табл. 2.

Для бобин сомкнутой намотки первичным является угол сдвига витков, который определяет параметры структуры и свойства нитей. Это закономерно, так как он не зависит от технологических параметров,

других параметров структуры и свойств нитей, а определяется задаваемым значением и устанавливается за счет соответствующей наладки машины.

Для всех трех бобин различного волокнистого состава удельная плотность намотки определяется прежде всего углом сдвига витков. Удельная плотность намотки является причиной, а следствием выступает угол сдвига витков. Удельная плотность намотки и угол сдвига витков предопределяют угол скрещивания витков.

Максимальное взаимное влияние существует между углом скрещивания витков и удельной плотностью. Частные коэффициенты причинного влияния соответственно для хлопчатобумажной, лавсановой и ком-

плексной нитями равняются: 0,325; 0,453; 0,324.

Угол сдвига витков и более равномерная по сравнению с обычными бобинами удельная плотность наматывания способствуют такому расположению витков и такому углу скрещивания, при которых достигается наибольшая удельная плотность наматывания и наибольшая длина и масса нити на паковке. Частные коэффициенты причинного влияния между углом скрещивания и углом сдвига витков (0,266; 0,125; 0,298) и углом сдвига витков и удельной плотностью наматывания (0,219; 0,218; 0,155) меньше, хотя и соизмеримы с первыми.

Свойства нитей предопределяются параметрами структуры паковки и удельной плотностью наматывания, хотя в основном зависят от вида волокнистого состава, линейной плотности нитей, технологических параметров и неравномерности свойств сырья, а также стабильности технологического процесса.

Для обычной бобины первичным (причиной) является угол скрещивания витков, задаваемый скоростным режимом работы машины. Для хлопчатобумажной и лавсановой нитей причинно-следственная связь выглядит следующим образом: $2\alpha \rightarrow \psi \rightarrow \rho \rightarrow n_p$, а для комплексной нити $2\alpha \rightarrow \rho \rightarrow \psi \rightarrow n_p$.

ВЫВОДЫ

1. Использование теории причинно-следственной информации позволяет установить причинно-следственные связи между факторами, определяющими процесс перематывания, и количественно оценить интенсивность причинных связей.

2. Созданная программа расчета на ЭВМ позволяет оценить интенсивность причинно-следственных связей при анализе любого количества факторов.

3. Установлено, что при формировании бобин сомкнутой намотки ее структура и свойства предопределяются углом сдвига

витков, который обеспечивает получение бобин заданной удельной плотности.

4. При формировании бобин обычной намотки структуру и свойства предопределяет угол скрещивания витков, но при этом бобина формируется в более сложных условиях, нежели при образовании бобин сомкнутой намотки, когда первичным является угол сдвига витков.

5. Свойства нитей предопределяются параметрами структуры бобин и удельной плотностью наматывания, хотя, безусловно, зависят от вида волокнистого состава, линейной плотности нитей, технологических параметров и неравномерности свойств сырья, причем установлено, что свойства нитей независимы друг от друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев С.Д. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №2. С.43...46.
2. Николаев С.Д. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №6.
3. Николаев С.Д. Прогнозирование технологических параметров изготовления тканей заданного строения и разработка методов их расчета: Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МТИ, 1989.

Рекомендована кафедрой ткачества МГТУ. Поступила 09.12.99.