

УДК 677.026.4

**АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ХОЛСТОПРОШИВНЫХ ПОЛОТЕН**

А.П.СЕРГЕЕНКОВ, Т. В. СУХОВА

(Московский государственный текстильный университет им А.Н.Косыгина)
E-mail: office@msta.ac.ru

С использованием бинарной причинно-следственной теории информации исследовано влияние параметров технологического процесса и свойств используемых прошивных нитей на разрывную нагрузку холстопрошивного полотна в продольном направлении с целью установления между этими факторами причинно-следственных связей. Предложенный метод позволяет идентифицировать исследуемые факторы, устранять эффекты сопутствия, автоматизировать трудоемкий метод расчета.

With the help of the binary cause-effect theory of information the influence of technological process and properties of the used broaching threads on the web-knitted canvas breaking load in lengthwise direction was researched for the purpose of setting the cause-effect relations between these factors. The offered method enables to identify the researched factors, to remove accompanying effects, to automatize the calculation laborious method.

Ключевые слова: бинарная причинно-следственная теория информации, холстопрошивное полотно, разрывная нагрузка, свойства прошивных нитей, параметры технологического процесса.

При исследовании технологического процесса в производстве нетканых материалов приходится сталкиваться с большим количеством факторов, воздействующих на процесс, и с многообразием связей между ними. Для управления технологическими процессами производства нетканых материалов, строением и свойствами выпускаемых полотен необходимо определить наиболее значимые факторы, влияющие на выходные параметры. Существующие методы (планирование эксперимента, корреляционный анализ) не всегда дают хорошие результаты, так как в конечном итоге присутствуют так назы-

ваемые "эффекты сопутствия" влияния различных входных параметров.

В ряде работ, проводимых в МГТУ им. А.Н. Косыгина, используется бинарная причинно-следственная теория информации, основанная на предпосылках Шеннона [1]. Задачи исследования предполагают использование метода, который бы позволял идентифицировать исследуемые факторы, устранять эффекты сопутствия, автоматизировать трудоемкий метод расчета.

В причинном анализе следует выделить две основные фундаментальные проблемы: идентификация причин и следствий в исследуемом процессе; количественная

оценка интенсивности прямых и косвенных причинных влияний в процессе. В простейшей постановке проблема идентификации может быть сформулирована следующим образом: рассматриваются две переменные Y и X , между которыми существует причинная связь и имеется статистика значений рассматриваемых переменных X_i и Y_i при $i = 1, 2, \dots, N$. Требуется, не привлекая дополнительных данных и гипотез, на основании анализа статистики определить направление причинной связи и дать ее количественную оценку.

Предлагается использовать следующее соотношение: если $I_{12} N_1 > I_{21} : N_2$, то $2 \rightarrow 1$, где I, N – соответственно информация и энтропия распределения вероятностей случайных величин. Поскольку $I_{12} = I_{21}$, то в случае если $N_1 < N_2$, $2 \rightarrow 1$.

Энтропия является количественной мерой неопределенности (по Шеннону) и связана со случайными явлениями. Величину энтропии распределения вероятностей для одномерной случайной величины можно определить по формуле:

$$H_i = - \sum_1^k P(X_{ki}) \log_2(X_{ki}),$$

где $P(X_{ki})$ – вероятность состояний случайной величины X_{ki} .

Причинная связь представляет собой информационный канал между фактором-причиной и фактором-следствием. Следовательно, при одной и той же статистической неопределенности следствия информация, поступающая от причины, должна быть тем больше, чем больше собственная статистическая неопределенность причины.

Величина информации между j -м и i -м факторами определяется по формуле:

$$I_{ij} = - \sum_1^{k,r} P(X_{ki}, X_{rj}) \log_2 \frac{P(X_{ki}, X_{rj})}{P(X_{ki})P(X_{rj})},$$

где $P(X_{rj})$ – вероятность состояний случайной величины X_{rj} ; $P(X_{ki}, X_{rj})$ – веро-

ятность состояний случайной величины X_{ki} и X_{rj} .

Для функционалов энтропии и информации справедливо следующее равенство:

$$\Gamma_{ij} = I_{ij} / H_{ij},$$

где Γ_{ij} – коэффициент причинного влияния j -го фактора на i -й.

При статистической независимости переменных X_i и X_j парный коэффициент причинного влияния Γ_{ij} равен 0. При $\Gamma_{ij} = 1$ существует строгая детерминированность следствия причиной.

Однако парные коэффициенты Γ_{ij} не могут служить мерой истинной тесноты связи между факторами. В качестве такой меры могут использоваться частные коэффициенты причинного влияния g_{ij} , причем $\sum \Gamma_{ij} \leq \sum g_{ij}$. Разность $\Gamma_{ij} - g_{ij}$ может служить оценкой косвенного причинного влияния X_j на X_i .

Задание причинно-следственного отношения $X_i \rightarrow X_j$ на множестве $\{X\}$ эквивалентно введению операции строгого частичного упорядочивания на множестве переменных, что позволяет представить исследуемую систему в форме некоторого ориентированного графа (оргграфа) G , обладающего свойствами ацикличности и транзитивности. При этом каждой вершине графа соответствует одна из переменных, а дуга (ориентированное ребро), инцидентная двум вершинам, например X_i и X_j , соответствует направленности причинного воздействия.

В данной работе с использованием описанного метода было исследовано влияние параметров технологических процесса и свойств используемых прошивных нитей на разрывную нагрузку холстопршивного полотна в продольном направлении с целью установления между этими факторами причинно-следственных связей. Для анализа были использованы 50 холстопршивных полотен (табл. 1 – характеристика экспериментальных холстопршивных полотен). В качестве исследуемых факторов выбраны:

X_1 – плотность прошива по длине, петель/50 мм; X_2 – поверхностная плотность провязываемого холста, г/м²; X_3 – состав смеси волокон; X_4 – вид и линейная плот-

ность прошивных нитей; X_5 – переплетение; X_6 – разрывная нагрузка холстопрошивного полотна в продольном направлении, даН.

Т а б л и ц а 1

№ п/п	Вид и линейная плотность прошивной нити	Переплетение	Плотность прошива по длине, петель/50 мм	Поверхностная плотность холста, г/м ²	Разрывная нагрузка, даН
1	полиэфирная комплексная 7,6 текс	трико	83,3	90	16,50
2				150	16,00
3				210	18,00
4			50,0	90	19,00
5				150	19,00
6				210	20,00
7			35,7	90	21,00
8				150	20,50
9				210	22,50
10	х/б пряжа 50 текс		25,0	160	18,10
11	х/б пряжа 50 текс		35,0	140	16,90
12	х/б пряжа 37 текс		35,0	140	17,10
13	х/б пряжа 50 текс		40,0	210	31,90
14	капроновая 29,4 текс		40,0	210	36,30
15	капроновая 15,6 текс	трико-цепочка	45,0	210	55,40
16	капроновая 29,4 текс		45,0	140	65,40
17	капроновая 6,7 текс		45,0	140	13,00
18	капроновая 29,4 текс	трико	32,0	210	44,00
19	капроновая 29,4 текс	трико	32,0	210	21,40
20	х/б пряжа 18,5 текс x 2	сукно-цепочка, через иглу	18,0	130	14,60
21				190	18,20
22				300	22,60
23			36,0	130	15,80
24				190	24,00
25				300	26,20
26	трико	20,0	150	18,30	
27		30,0	150	16,80	
28		40,0	150	18,00	
29		50,0	150	17,20	
30	сукно	20,0	150	15,90	
31		30,0	150	20,40	
32		40,0	150	23,30	
33		50,0	150	22,00	
34	трико-цепочка	20,0	150	35,10	
35		30,0	150	33,90	
36		40,0	150	37,50	
37		50,0	150	34,00	
38	трико-трико	20,0	150	33,80	
39		30,0	150	29,90	
40		40,0	150	34,00	
41		50,0	150	34,20	
42	сукно-сукно	30,0	150	34,50	
43		40,0	150	38,70	
44	сукно-цепочка	20,0	150	29,70	
45		30,0	150	33,30	
46		40,0	150	33,20	
47		50,0	150	32,40	
48	капроновая 29,4 текс	трико	40,0	230	53,80
49	капроновая 15,6 текс				30,30
50	капроновая 6,7 текс				15,00

После выполнения расчетов по программе PR-SL, разработанной на кафедре технологии ткачества МГТУ им. А.Н. Косыгина, были получены значения энтропии исследуемых факторов:

$$H_1 = 0,995; H_2 = 0,714; H_3 = 0,658; \\ H_4 = 0,685; H_5 = 0,704; H_6 = 0,640.$$

Расположив энтропии по убыванию:

$$H_1 > H_2 > H_5 > H_4 > H_3 > H_6, \\ 0,995 > 0,714 > 0,704 > 0,685 > 0,658 > 0,640,$$

получим следующую цепочку причинно-следственных связей:

$$X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow X_5 \rightarrow X_4 \rightarrow X_3 \rightarrow X_6,$$

Это позволяет построить ориентированный граф причинно-следственных связей для шести факторов, который показан на рис. 1.

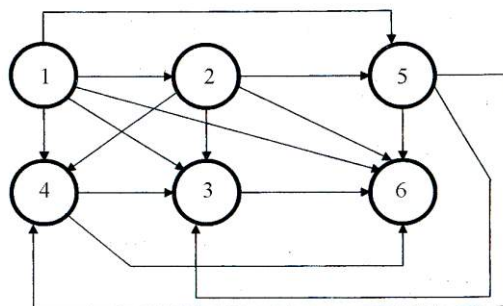


Рис. 1

При помощи той же программы PR-SL были рассчитаны значения информации I_{ij} и коэффициентов причинного влияния j -го фактора на i -й – Γ_{ij} – , представленные в табл. 2 – результаты вычислений I_{ij} , Γ_{ij} и g_{ij} для разрывной нагрузки полотна в продольном направлении.

Таблица 2

Направление связи	Γ_{ij}	I_{ij}	g_{ij}	$\Gamma_{ij} - g_{ij}$
1 → 2	0,439	0,437	0,439	0
1 → 3	0,520	0,517	0,114	0,406
1 → 4	0,477	0,475	0,111	0,366
1 → 5	0,311	0,309	0,140	0,171
1 → 6	0,264	0,263	0,098	0,166
2 → 3	0,705	0,503	0,169	0,536
2 → 4	0,618	0,441	0,446	0,172
2 → 5	0,390	0,278	0,390	0
2 → 6	0,283	0,202	-0,039	0,283
3 → 4	0,807	0,552	0,807	0
3 → 5	0,455	0,321	0,094	0,361
3 → 6	0,332	0,212	0,332	0
4 → 5	0,448	0,307	0,448	0
4 → 6	0,350	0,240	0,082	0,262
5 → 6	0,364	0,257	0,196	0,168

Для нахождения частных коэффициентов причинного влияния воспользуемся методикой, описанной в указанной литературе.

В результате получаем замкнутую систему нелинейных относительно g_{ij} алгебраических уравнений:

$$\Gamma_{63} = g_{63}; \Gamma_{64} = g_{64} + g_{34}g_{63}; \Gamma_{34} = g_{34}; \\ \Gamma_{65} = g_{65} + g_{45}g_{34}g_{63} + g_{45}g_{64} + g_{35}g_{63}; \\ \Gamma_{35} = g_{35} + g_{45}g_{34}; \Gamma_{45} = g_{45}; \Gamma_{52} = g_{52}; \Gamma_{42} = g_{42} + g_{52}g_{45}; \\ \Gamma_{32} = g_{32} + g_{52}g_{45}g_{34} + g_{52}g_{35} + g_{42}g_{34}; \\ \Gamma_{62} = g_{62} + g_{52}g_{65} + g_{42}g_{64} + g_{32}g_{63} + g_{52}g_{45}g_{64} + g_{52}g_{35}g_{63} + g_{42}g_{34}g_{63}; \\ \Gamma_{21} = g_{21}; \Gamma_{51} = g_{51} + g_{21}g_{52}; \Gamma_{41} = g_{41} + g_{21}g_{52}g_{45} + g_{21}g_{42} + g_{51}g_{45}; \\ \Gamma_{31} = g_{31} + g_{21}g_{32} + g_{51}g_{35} + g_{41}g_{34} + g_{21}g_{52}g_{35} + g_{21}g_{42}g_{34} + g_{51}g_{45}g_{34}; \\ \Gamma_{61} = g_{61} + g_{21}g_{62} + g_{51}g_{65} + g_{41}g_{64} + g_{21}g_{52}g_{65} + g_{21}g_{42}g_{64} + g_{51}g_{45}g_{64} + \\ + g_{31}g_{63} + g_{21}g_{32}g_{63} + g_{51}g_{35}g_{63} + g_{41}g_{34}g_{63}.$$

Результаты расчетов приведены ниже и также включены в табл. 2, анализ которой позволяет сделать следующие выводы:

– по уменьшению степени влияния на разрывную нагрузку холстопршивного полотна в продольном направлении исследуемые факторы располагаются в такой последовательности: переплетение, вид и линейная плотность прошивных нитей, состав смеси волокон, поверхностная плотность провязываемого холста, плотность прошива по длине;

– если по общему влиянию на разрывную нагрузку эти факторы различаются ненамного ($\Gamma_{56}=0,364$; $\Gamma_{46}=0,350$; $\Gamma_{36}=0,332$; $\Gamma_{26} = 0,283$; $\Gamma_{16} = 0,264$), то непосредственное влияние каждого фактора уже проявляется в большей степени ($g_{65}=0,196$; $g_{64}=0,082$; $g_{63}=0,332$; $g_{62}=0$; $g_{61}=0,098$).

Полученные выводы подтверждаются имеющимися представлениями о технологическом процессе производства холстопршивных полотен.

ВЫВОДЫ

1. На основе бинарной причинно-следственной теории информации установлены причинно-следственные связи между условиями изготовления и прочностными свойствами холстопршивных полотен.

2. Выполнен количественный анализ интенсивности прямых и косвенных причинных влияний, действующих в процессе производства холстопршивных полотен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев С.Д., Мартынова А.А., Юхин С.С., Власова Н.А. Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве. – М.: Московский государственный текстильный университет им. А.Н.Косынина, 2006.

Рекомендована кафедрой технологии нетканых материалов. Поступила 02.10.09.