

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕМАТЫВАНИЯ НИТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНОЙ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОЙ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

Назарова М. В., Романов В. Ю.

Камышинский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин, Россия (403874, г. Камышин, ул. Ленина, 6А) ttp@kti.ru

В статье приведены результаты прогнозирования на ПЭВМ технологического процесса перематывания на основе использования бинарной причинно-следственной теории информации. Разработанная в среде программирования MathCad программа «Прогнозирование технологического процесса перематывания на основе использования бинарной причинно-следственной теории информации» позволяет получить частные коэффициенты причинного влияния и таким образом оценить интенсивность причинно-следственных связей при анализе любого количества факторов, определяющих технологический процесс перематывания. Кроме того, проведенные исследования показали, что свойства нитей предопределяются параметрами структуры бобин и удельной плотностью наматывания, хотя, безусловно, в основном зависят от вида волокнистого состава, линейной плотности нитей, технологических параметров и неравномерности свойств сырья, причем установлено, что свойства нитей независимы друг от друга.

Ключевые слова: бинарная причинно-следственная теория информации, перематывание нитей, энтропия, парные частные коэффициенты причинного влияния.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AUTOMATED PREDICTION OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF WINDING THREADS USING A BINARY CAUSE-AND-EFFECT INFORMATION THEORY

Nazarova M. V., Romanov V. Y.

Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia (403874, Kamyshin, Lenina st. 6A) ttp@kti.ru

The article presents the results of the forecasting on PC of technological process of winding based on the use of binary cause-and-effect information theory. Developed in the programming environment MathCad program "Forecasting of technological process winding using binary cause-and-effect information theory" provides a partial factors causal influence, and thus to assess the intensity of the cause-and-effect relations in the analysis of any number of factors that determine the technological process of winding. In addition, studies have shown that the properties of yarn predetermined parameters of structure bobbins and specific density winding, though certainly is largely dependent on the type of fibrous structure, the linear density of threads, technological parameters and unevenness of the properties of raw materials, and found that the properties of the threads are independent of each other. Also found that during the formation bobbin its structure and properties are predetermined mating angle coil, which provides reception bobbins given specific density.

Keywords: binary cause-and-effect information theory, winding threads, entropy, paired partial factors causal influence.

Важнейшими процессами в текстильной промышленности являются процессы подготовки нитей к ткачеству. Одним из таких процессов является процесс перематывания нитей. Целью технологического процесса перематывания является получение паковки, необходимой для эффективного проведения последующих процессов. Так же как и ко всем технологическим процессам, к процессу перематывания предъявляется ряд требований, основным из которых является то, что не должны ухудшаться физико-механические свойства пряжи (упругое удлинение, прочность и крутка).

Для управления технологическим процессом перематывания 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 называемые «эффекты сопутствия» влияния различных входных параметров, поэтому необходимо при проведении экспериментальных исследований факторы варьировать в строго определенных пределах, что сложно сделать в производстве.

Поэтому в данном случае целесообразно использовать бинарную причинно-следственную теорию информации, основанную на предпосылках Шеннона. При исследовании технологических процессов ткацкого производства приходится сталкиваться с многообразием факторов, воздействующих на процесс, и с многообразием связей между ними. Поэтому задачи исследования обусловлены использованием метода, который бы позволял: идентифицировать исследуемые факторы; устранять эффекты сопутствия; автоматизировать трудоемкий метод расчета. Диаграммная техника причинного анализа позволяет установить внутреннюю причинно-следственную структуру рассматриваемого процесса и оценить количественно интенсивность причинных воздействий между различными факторами. В причинном анализе следует выделить две основные фундаментальные проблемы: идентификации причин и следствий в исследуемом процессе; количественной оценки интенсивности прямых и косвенных причинных влияний в процессе. 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.

Определить направленность причинно-следственных связей между исследуемыми факторами можно по значению энтропии. Энтропия – теоретико-информационная мера степени неопределенности случайной величины. Формулы для расчета энтропии H_i , информации Y_{ij} и парных коэффициентов Γ_{ij} причинного влияния представлены в формулах (1) – (4).

Для дискретной случайной величины, принимающей значения x_{ki} вероятностями $p(x_{ki})$, величина энтропии [5], [6]:

$$H_i = \sum_{k=1}^K p(x_{ki}) \cdot \log_2 p(x_{ki}) \quad (1)$$

Величина информации или условной энтропии между i -ым и j -ым факторами определяется по формуле:

$$Y_{ij} = \sum p(x_{ki}, x_{rj}) \cdot \log_2 \frac{p(x_{ki}, x_{rj})}{p(x_{ki}) \cdot p(x_{rj})} \quad (2)$$

где $p(x_{ki})$ – вероятность состояний случайной величины x_{ki} ; $p(x_{rj})$ – вероятность состояний случайной величины x_{rj} ; $p(x_{ki}, x_{rj})$ – вероятность состояний случайных величин.

Величина энтропии определяется по формуле:

$$H_{ij} = H_{ji} = H_i + H_{j/i} = H_j + H_{i/j} \quad (3)$$

где H_i – энтропия распределения вероятностей для одномерной случайной величины x_{ki} ; H_j – энтропия распределения вероятностей для одномерной случайной величины x_{rj} ; H_{ij} , H_{ji} – энтропии распределения вероятностей для двумерной случайной величины (x_{ki}, x_{rj}) .

Причинная связь – это 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:

$$\frac{Y_{ji}}{H_j} = \Gamma_{ji} \frac{H_i}{H_j} \quad \text{или} \quad Y_{ij} = \Gamma_{ji} \cdot H_i \quad (4)$$

где Γ_{ji} – парный коэффициент причинного влияния i -го фактора на j -ый.

Нужно отметить, что парные коэффициенты Γ_{ij} не могут служить мерой истинной связи между факторами. Истинное влияние факторов друг на друга можно оценить по частным коэффициентам причинного влияния. Частные коэффициенты причинного влияния не равны парным. Равенство парных и частных коэффициентов причинного влияния соответствует случаю статистически независимых взаимодополнительных причин. Разность может служить оценкой косвенного причинного влияния.

Для определения частных коэффициентов причинного влияния необходимо решить систему нелинейных уравнений, состоящую из довольно большого количества уравнений.

Использование бинарной причинно-следственной теории информации в учебном процессе и в производственных условиях затруднительно, ввиду большого объёма и сложности расчётов [1], [2]. Хотя прогнозирование на основе этого метода даёт более точные результаты.

Для устранения этого недостатка необходимо разработать алгоритм автоматизированного расчёта по этому методу и осуществить его программную реализацию.

На кафедре ткачества МГТУ им. А. Н. Косыгина [6] была создана программа расчёта для энтропии, информации и парных коэффициентов причинного влияния на ЭВМ с использованием языка программирования Basic. Однако недостатком этого расчёта являлось то, что наиболее сложная часть расчётов, а именно, построение графов причинно-

следственных связей и составление системы уравнений для расчёта частных коэффициентов причинного влияния производились вручную.

Поэтому для устранения этих недостатков был разработан такой алгоритм автоматизированного расчёта на ЭВМ, где все этапы прогнозирования выполнялись автоматически [3], [4]. Для этого была выбрана современная среда программирования MathCad.

В результате программной реализации этого алгоритма все расчёты, связанные с прогнозированием технологического процесса перематывания на основе использования бинарной причинно-следственной теории информации, осуществляются на ПЭВМ.

В данной работе, с использованием разработанной на ПЭВМ программы, решалась задача установления причинно-следственных связей между технологическими параметрами перематывания нитей на паковку. Установление этих взаимосвязей позволит прогнозировать свойства получаемых бобин и их качество, а также позволит при контроле и оптимизации технологического процесса «обращать» внимание на факторы, в наибольшей степени влияющие на выходные параметры процесса.

Базой для исследования технологического процесса перематывания нитей на паковку являлась лаборатория кафедры «Технология текстильного производства» Камышинского технологического института (филиала) ВолгГТУ.

Объектом исследования являлась пряжа различного сырьевого состава, перематываемая на мотальной машине М-150-2:

1. Нить комплексная, с добавками ПЭВ, 80 текс;
2. Хлопчатобумажная пряжа, 40 текс;
3. Лавсановая нить, 50 текс.

В качестве факторов, определяющих технологический процесс перематывания, были выбраны следующие факторы: разрывная нагрузка нити, R_p , Н; средне-квадратическое отклонение по разрывной нагрузке, σ_{R_p} ; разрывное удлинение, L_p , мм; средне-квадратическое отклонение по разрывной нагрузке, σ_{L_p} ; диаметр бобины, D , мм; линейная плотность пряжи, T , текс; средне-квадратическое отклонение по линейной плотности, σ_T ; удельная плотность намотки бобин, g , г/см; средне-квадратическое отклонение по удельной плотности намотки бобин, σ_g ; угол сдвига витков, ψ , град; угол скрещивания витков, α , град; средне-квадратическое отклонение по углу скрещивания витков, σ_α ; коэффициент тангенциального сопротивления, f ; средне-квадратическое отклонение по коэффициенту тангенциального сопротивления, σ_f ; число циклов до разрушения нити при истирании, P_p , количество циклов; средне-квадратическое отклонение по величине числа циклов до разрушения нити при истирании, σ_{P_p} ; число циклов до разрушения нити при многократной нагрузке, P_n ,

количество циклов; средне-квадратическое отклонение по величине числа циклов до разрушения нити при многократной нагрузке, $\sigma_{Пн}$; жесткость нити, C , Н/мм.

В результате проведенных расчетов в программе «Прогнозирование технологического процесса перематывания на основе использования бинарной причинно-следственной теории информации» получены значения энтропии (таблица 1), парных и частных коэффициентов причинного влияния (рис.1).

Таблица 1. Распределение энтропии по исследуемым факторам для нитей различного сырьевого состава

№ п/п	х/б нить		лавсановая нить		комплексная нить	
	фактор	значение энтропии	фактор	значение энтропии	фактор	значение энтропии
1	D	3,495	C	3,561	D	3,495
2	σ_f	3,472	D	3,495	T	3,495
3	f	3,107	T	3,495	$\sigma_{2\alpha}$	3,495
4	C	2,820	$\sigma_{2\alpha}$	3,459	C	3,129
5	σ_T	2,817	σ_f	3,025	σ_T	2,826
6	T	2,500	f	2,901	σ_f	2,541
7	2α	2,038	σ_T	2,675	f	2,388
8	ρ	1,980	2α	1,981	2α	1,716
9	σ	1,816	ρ	1,944	ψ	1,625
10	ψ	1,589	ψ	1,907	ρ	1,589
11	σ_p	1,462	σ_{P_p}	1,625	$\sigma_{П_p}$	1,589
12	σ_{P_p}	1,462	σ_{Z_p}	1,462	σ_{P_p}	1,525
13	σ_{Z_p}	1,462	Π_n	1,462	σ_p	1,462
14	$\sigma_{П_p}$	1,462	$\sigma_{П_n}$	1,462	σ_{Z_p}	1,462
15	P_p	1,398	σ_p	1,398	$\sigma_{П_n}$	1,462
16	Z_p	1,398	P_p	1,398	P_p	1,398
17	Π_p	1,398	Z_p	1,398	Z_p	1,398
18	Π_n	1,398	Π_p	1,398	Π_p	1,398
19	$\sigma_{П_n}$	1,398	$\sigma_{П_p}$	1,398	Π_n	1,398

Анализ значений энтропии позволяет сделать следующие выводы:

- в данном случае три важнейших параметра структуры паковки зависят от целого ряда факторов: диаметра паковки, линейной плотности нити, коэффициента пропорциональности "с", коэффициента трения и неравномерностей по этим характеристикам;

- удельную плотность намотки на 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, то его значение по мере формирования паковки стабильно; неравномерность удельной плотности нитей в данном случае является 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 паковки 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);

- энтропия всех свойств нитей (разрывная нагрузка, разрывное удлинение, стойкость к истиранию, выносливость к многократным нагрузкам) имеют 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;

- энтропии всех свойств примерно равны между собой, что говорит об отсутствии причинно-следственных связей между отдельными показателями свойств.

	1	2	3	4
1	"Причина"	"Следствие"	"g"	"Г-g"
2	"Разрывная нагрузка нити"	"Среднеквадратическое отклонение от разрывной нагрузки"	0.084	0
3	"Разрывная нагрузка нити"	"Диаметр намотки нити на паковку"	0.093	$5.559 \cdot 10^{-3}$
4	"Разрывная нагрузка нити"	"Разрывное удлинение нити"	0.141	0.013
5	"Разрывная нагрузка нити"	"Расстояние от паковки до баллоногасителя"	0.066	0.022
6	"Разрывная нагрузка нити"	"Скорость перематывания"	0.047	0.018
7	"Разрывная нагрузка нити"	"Масса грузовых шайб"	0.055	0.017
8	"Среднеквадратическое отклонение от разрывной нагрузки"	"Диаметр намотки нити на паковку"	0.066	0
9	"Среднеквадратическое отклонение от разрывной нагрузки"	"Разрывное удлинение нити"	0.065	$5.044 \cdot 10^{-3}$
10	"Среднеквадратическое отклонение от разрывной нагрузки"	"Расстояние от паковки до баллоногасителя"	0.049	$9.142 \cdot 10^{-3}$
11	"Среднеквадратическое отклонение от разрывной нагрузки"	"Скорость перематывания"	0.036	$9.162 \cdot 10^{-3}$
12	"Среднеквадратическое отклонение от разрывной нагрузки"	"Масса грузовых шайб"	0.036	$8.376 \cdot 10^{-3}$
13	"Диаметр намотки нити на паковку"	"Разрывное удлинение нити"	0.076	0
14	"Диаметр намотки нити на паковку"	"Расстояние от паковки до баллоногасителя"	0.04	$7.097 \cdot 10^{-3}$
15	"Диаметр намотки нити на паковку"	"Скорость перематывания"	0.084	$3.493 \cdot 10^{-3}$
16	"Диаметр намотки нити на паковку"	"Масса грузовых шайб"	0.081	$3.433 \cdot 10^{-3}$
17	"Разрывное удлинение нити"	"Расстояние от паковки до баллоногасителя"	0.093	0
18	"Разрывное удлинение нити"	"Скорость перематывания"	0.028	$2.708 \cdot 10^{-3}$
19	"Разрывное удлинение нити"	"Масса грузовых шайб"	0.022	$1.9 \cdot 10^{-3}$
20	"Расстояние от паковки до баллоногасителя"	"Скорость перематывания"	0.029	0
21	"Расстояние от паковки до баллоногасителя"	"Масса грузовых шайб"	0.017	$3.1 \cdot 10^{-4}$
22	"Скорость перематывания"	"Масса грузовых шайб"	0.011	0

Рис.1. Пример представления результатов расчёта на ПЭВМ частных коэффициентов причинного влияния факторов технологического процесса перематывания хлопчатобумажной пряжи

Анализ результатов расчёта на ПЭВМ (см. рис. 1) частных коэффициентов причинного влияния факторов технологического процесса перематывания хлопчатобумажной пряжи, лавсановой и комплексной полиэфирной нитей позволяет сделать следующие выводы:

- 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 х/б и лавсановой нитей причинно-следственная связь выглядит следующим образом: $2\alpha \rightarrow \psi \rightarrow \rho \rightarrow \Pi_{\text{п}}$, а для комплексной нити $2\alpha \rightarrow \rho \rightarrow \psi \rightarrow \Pi_{\text{п}}$, видимо, это связано с тем, что при эксперименте нами устанавливались различные скоростные режимы, при этом трение нитей различно, а так как количество прерываний током электропрерывателя на мотальной машине не изменялось, то угол скрещивания витков был различным.

Выводы

1. Разработанная на ПЭВМ программа «Прогнозирование технологического процесса перематывания на основе использования бинарной причинно-следственной теории информации» позволяет в сжатые сроки оценить интенсивность причинно-следственных связей при анализе любого количества факторов, определяющих технологический процесс перематывания.

2. При использовании разработанной на ПЭВМ программы определены наиболее значимые факторы технологического процесса перематывания, что позволяет наиболее эффективно управлять этим процессом.

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

Список литературы

1. Назарова М. В. Автоматизация расчета паковок по переходам ткацкого производства // Известия вузов «Технология текстильной промышленности». – 2008. – 6. – С. 106-108.
2. Назарова М. В. Исследование уровня повреждаемости комплексных нитей в технологическом процессе перематывания при формировании бобин сомкнутой намотки // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – 6. – С. 102-105.
3. Назарова М.В. О концепции разработки САПР текстильных предприятий // Известия вузов «Технология текстильной промышленности». – 2008. – 3. – С. 142-143.

4. Назарова М. В. Николаев С. Д., Панин И. Н. Анализ причинно-следственных связей между параметрами, структурой паковки и свойствами нитей при перематывании на основе бинарной теории информации // Известия вузов «Технология текстильной промышленности». – 2001. – №1. – С. 28-33.
5. Назарова М. В., Романов В. Ю. Исследование многоцикловых и полумногоцикловых характеристик нитей до и после ткачества // Современные проблемы науки и образования. – 2010. – 6. – 89-94.
6. Николаев С. Д. Прогнозирование технологических параметров изготовления тканей заданного строения и разработка методов их расчета: дис. ... докт. техн. наук. – М., 1988. – 469 с.

Рецензенты:

Николаев Сергей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, ректор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина», г. Москва.

Юхин Сергей Семёнович, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе, ФГБОУ ВПО «Московский государственный текстильный университет им. А. Н. Косыгина», г. Москва.