

УДК 677.017:004.9

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА\***

**DESIGNING OF RATING VALUES OF INDEXES  
OF TEXTILE PRODUCTS QUALITY  
USING NEURAL NETWORK ANALYSIS**

*О.А. ШАЛОМИН, А.Ю. МАТРОХИН, А.С. ШУБИН*  
*O.A. SHALOMIN, A.YU. MATROHIN, A.S. SHUBIN*

**(Ивановская государственная текстильная академия, ООО "ТексПро")**  
**(Ivanovo State Textile Academy, "TexPro" Co. Ltd.)**  
E-mail: ttp@igta.ru

---

\* Статья подготовлена в рамках выполнения гранта ИГТА для поддержки коллективов молодых ученых.  
Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Б.Н. Гусева.

*Сформулирован единый подход и разработана методика проектирования номинальных значений, определяющих показатели качества текстильных изделий на основе методологии рекуррентных искусственных нейронных сетей, и на примере кардной хлопчатобумажной пряжи определены коэффициенты эмпирических уравнений, используемых в качестве нейронов искусственной нейронной сети.*

*The united approach has been formulated and the methods of designing rating values defining the textile articles quality indexes on the basis of the methodology of recurrent neural networks has been developed, and by the example of a card cotton yarn the coefficients of empirical equations used as neurons of an artificial neuron network have been defined.*

**Ключевые слова:** текстильные изделия, номинальные значения, показатели качества, методология рекуррентных искусственных нейронных сетей.

**Keywords:** textile articles, rating values, quality indexes, methodology of recurrent artificial neuron networks.

Качество готового продукта, формируемого в результате любого текстильного производственного цикла, определяется не только уровнем качества исходного сырья, но и качеством последовательно формируемых полуфабрикатов [1]. Вариации характеристик качества полуфабрикатов способны оказать существенное влияние на качество пряжи, поэтому ими необходимо управлять на основе четких нормативов. Одна из основных составляющих любого норматива, определяющего требования к качеству продукции, представляет собой номинальное значение соответствующей характеристики. Проектируемый номинал показывает оптимальное значение, с которым должен совпадать ожидаемый центр группирования фактических значений. Оптимальность номинального значения связана с минимизацией затрат, которые несет как изготовитель, так и потребитель на всех этапах жизненного цикла продукции. Отклонение спроектированного номинального значения от оптимума (в сторону завышения) приводит к дополнительным затратам ресурсов или к снижению производительности процессов. При негативном отклонении (занижении норм) потери могут возникать из-за несоответствий выпущенной продукции, что влечет за собой невыполнение функциональных

требований, снижение градации продукции, предъявление претензий потребителя, повторную обработку или задержку в технологическом процессе.

Практика установления номинальных значений не должна приводить к их хаотическому дрейфу, вызванному влиянием временных или других неконтролируемых факторов. Такая ситуация наблюдается, когда номинальное значение определяют путем вычисления среднего арифметического значения среди результатов наблюдений, полученных на некоторой "показательной" выборке. Нормирование на основе среднего выборочного содержит в себе элемент неопределенности относительно оптимального значения проектируемого показателя, поэтому необходим принципиально новый подход, базирующийся на устойчивых закономерностях, отражающих взаимосвязи между проектируемыми параметрами и влияющими факторами.

Рассмотрим сущность предлагаемого подхода к проектированию определяющих показателей качества текстильных изделий на примере хлопчатобумажной пряжи кардной системы прядения. Основная идея состоит в совместном использовании множества сгруппированных факторов. Цель группирования влияющих факторов заключается в получении статистически независимых

математических моделей, включающих ограниченное число факторов. Согласно предлагаемому подходу влияющие производственные факторы, отражающие результативность различных технологических процессов, можно подразделить по соответствующим технологическим этапам. Например, технологическому этапу формирования чесальной ленты могут быть сопоставлены количественные характеристики, отражающие результативность разъединения и распрямления волокон, очистки волокнистой массы, а также результативность выравнивания волокнистого продукта. Помимо формирования чесальной ленты таких технологических этапов для получения

кардной пряжи насчитывается четыре: составление сортировки (этап учитывает только показатели качества сырья), получение технологической смеси, формирование ленты (первый выпуск), приготовление выпускной ленты. В качестве определяющих показателей качества пряжи выбраны: удельная разрывная нагрузка, коэффициент вариации по разрывной нагрузке, коэффициент вариации по линейной плотности, число пороков на 1000 м, а также коэффициент использования прочности волокон в пряже. Следует отметить, что перечень определяющих показателей качества пряжи может быть расширен в зависимости от потребностей заказчиков.

Т а б л и ц а 1

Наименование определяющего показателя, единицы измерения	Эмпирическое выражение, полученное для расчета определяющего показателя
Удельная разрывная нагрузка, гс/текс	$P_{y1} = -2,155 - 0,016T_{в} + 0,306P_{ву} - 0,136Д_{кор} + 0,344L_{в} - 0,422Z$
	$P_{y2} = 5,334 - 2,223M + 8,506E$
	$P_{y3} = 12,783 - 3,938E1 - 21,348 I_L + 22,709 I_P - 2,602N_{к} + 1,979O_r$
	$P_{y4} = 9,492 + 1,53O_{r1}$
	$P_{y5} = 7,625 + 2,61O_{r2} + 11,942d_{Ск2}$
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	$C_{p1} = 9,882 - 0,070L_{в} + 0,314Z + 0,013T_{в} + 1,14 \delta_{сop}$
	$C_{p2} = 11,52 - 1,587M - 1,79E$
	$C_{p3} = 12,339 - 0,286E1 - 0,4I_L + 0,603N_{к} - 2,366d_{Ск} - 2,57796O_r$
	$C_{p4} = 7,318 + 1,848O_{r1} + 1,324d_{Ск1}$
	$C_{p5} = 8,791 + 1,901O_{r2} + 3,138d_{Ск2} - 9,182d_{Сд2}$
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	$C_{T1} = 2,628 + 0,005T_{в} + 0,021Д_{кор} - 0,063L_{в} + 0,018Z$
	$C_{T2} = 2,824 - 0,086M - 1,139E$
	$C_{T3} = 6,946 + 0,451E1 - 0,453I_L - 4,861N_{к} - 1,197d_{Ск} - 1,243d_{Сд} + 1,654O_r$
	$C_{T4} = 2,977 - 0,086O_{r1} - 0,848d_{Ск1} - 1,128d_{Сд1}$
	$C_{T5} = 2,62 - 0,035O_{r2} - 0,062d_{Ск2} - 5,32d_{Сд2}$
Число пороков на 1000 м, шт.	$N_1 = -11,574 + 11,035Д_{кор} + 22,264Z$
	$N_2 = 354,583 - 6,447M - 237,417E$
	$N_3 = 544,516 + 23,7614E1 - 406,296N_{к}$
	$N_4 = 203,799 - 102,904d_{Ск1}$
	$N_5 = 200,389 - 368,148d_{Ск2}$
Коэффициент использования разрывной нагрузки волокон в пряже	$Kисп_1 = 0,568 - 0,13Д_{кор} + 0,052L_{в} - 0,108Z$
	$Kисп_2 = 0,46 + 0,3M$
	$Kисп_3 = -13,473 + 0,147E1 + 6,553I_L + 4,351I_P + 4,704N_{к} - 1,4O_r$
	$Kисп_4 = 0,411 + 0,256O_{r1}$
	$Kисп_5 = 0,154 + 0,475O_{r2} + 1,34d_{Ск2}$

П р и м е ч а н и е.  $T_{в}$  - средневзвешенная линейная плотность волокон смеси, мтекс;  $P_{ву}$  - средневзвешенная удельная разрывная нагрузка волокон смеси, гс/текс;  $Д_{кор}$  - содержание коротких волокон в смеси, %;  $L_{в}$  - верхняя средняя длина волокон смеси, мм;  $Z$  - коэффициент зрелости волокон;  $\delta_{сop}$  - массовая доля пороков и сорных примесей, %;  $M$  - относительное изменение объемной массы волокнистого материала;  $E$  - относительное изменение массовой доли пороков и сорных примесей;  $E1$  - относительное изменение массовой доли пороков и сорных примесей (на этапе кардочесания);  $N_{к}$  - коэффициент разъединенности волокон в чесальной ленте;  $O_r$  - коэффициент распрямленности волокон в чесальной ленте;  $O_{r1}$  - коэффициент распрямленности волокон в ленте с первого перехода ленточных машин;  $O_{r2}$  - коэффициент распрямленности волокон в ленте со второго перехода ленточных машин (выпускной ленты);  $d_{Ск2}$  - коэффициент выравнивания выпускной ленты по линейной плотности на коротких отрезках;  $I_L$  - индекс изменения верхней средней длины волокон;  $d_{Ск}$  - коэффициент выравнивания чесальной ленты по линейной плотности на коротких отрезках;  $d_{Ск1}$  - коэффициент выравнивания ленты с первого перехода ленточных машин по линейной плотности на коротких отрезках;  $d_{Сд2}$  - коэффициент выравнивания выпускной ленты по линейной плотности на длинных отрезках;  $d_{Сд}$  - коэффициент выравнивания чесальной ленты по линейной плотности на длинных отрезках;  $d_{Сд1}$  - коэффициент выравнивания ленты с первого перехода ленточных машин по линейной плотности на длинных отрезках;  $I_P$  - индекс изменения удельной разрывной нагрузки волокон.

В результате пассивного эксперимента по установлению причинно-следственной (корреляционной) связи между группами факторов и каждым проектируемым определяющим показателем качества пряжи получены линейные математические модели, приведенные в табл. 1.

Количество влияющих факторов в каждом уравнении колеблется от одного до шести, что позволяет не только расширить общий перечень учитываемых факторов (их общее количество составляет 20), но и получить взвешенную оценку значения проектируемого показателя в различных аспектах.

Методика установления номинальных значений проектируемых показателей качества продуктов прядильного производства состоит в выполнении следующих шагов:

1) начало новой  $j$ -й итерации, то есть получение задания на проектирование с новыми входными данными (требованиями) или с сохранением требований от предыдущей  $j - 1$  итерации;

2) активация (загрузка в оперативную память) математических моделей с коэффициентами регрессии, определенными методами корреляционного анализа за предыдущий период проектирования;

3) отбор данных мониторинга единичных показателей качества (ЕПК) сырья и единичных показателей результативности (ЕПР) технологических этапов  $x_i$ , собранных на протяжении предыдущей  $j - 1$ -й итерации проектирования;

4) определение математического ожидания по каждому учитываемому ЕПК сырья и ЕПР технологических этапов  $\bar{X}_i$  и подстановка полученных значений в активированные модели (уравнения);

5) вычисление  $k$  значений для каждого проектируемого показателя качества  $Y_k$  с помощью  $k$  уравнений регрессии;

6) расчет средневзвешенного значения каждого проектируемого показателя каче-

ства  $\bar{Y}$  с учетом коэффициентов весомости ( $\gamma_k$ ) используемых уравнений;

7) принятие средневзвешенного значения проектируемого показателя в качестве номинального  $\bar{Y} = \|Y\|$ .

Предложенный алгоритм особенно актуален в проектировании продукции поточковых технологических систем, где каждый предыдущий этап обуславливает результаты последующего этапа. При этом на протяжении технологического цикла возникает множество влияющих факторов, объединение которых в одну общую математическую модель нецелесообразно с точки зрения их статистической значимости.

Эффективная реализация такой многофакторной методики возможна в условиях искусственной нейронной сети с обратной связью (рекуррентная нейронная сеть) [2]. Именно этот инструментарий позволяет использовать полученные математические модели в режиме конкуренции, когда вклад (весомость) уравнений и даже их структура могут меняться под влиянием результатов мониторинга фактических значений проектируемых показателей качества. Детализированную структуру искусственной рекуррентной нейронной сети (ИНС) можно наглядно представить на уровне установления норматива по отдельным показателям качества. Рассмотрим принципы функционирования ИНС на примере проектирования удельной разрывной нагрузки пряжи.

На рис. 1 показана структура ветви ИНС для проектирования номинального значения удельной разрывной нагрузки пряжи  $P_y$ . Она представляет собой одну из пяти ветвей нейронной сети, предназначенных для проектирования критериев приемки пряжи. Каждая ветвь "отвечает" за установление норм по одному ЕПК пряжи и генерирует номинальные значения независимо от других ветвей.

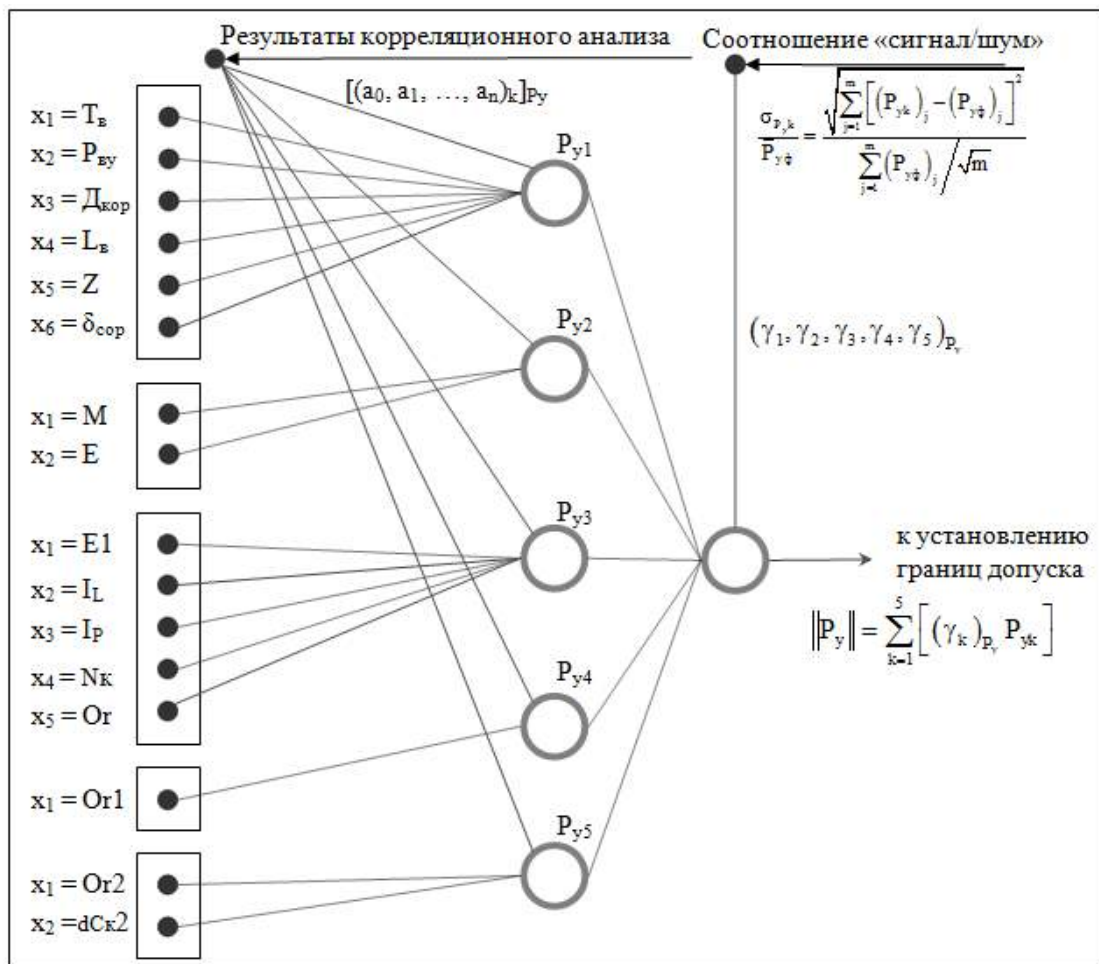


Рис. 1

На этапе запуска нейронной сети определение расчетных значений удельной разрывной нагрузки пряжи  $P_{y1}, \dots, P_{y5}$  осуществляется на основе уравнений, приведенных в табл. 1. Однако при функционировании ИНС коэффициенты уравнений  $(a_0, a_1, \dots, a_n)_k$  корректируются на последующих итерациях проектирования при накоплении данных мониторинга.

Установление коэффициентов весомости каждого уравнения  $\gamma_k$  на этапе запуска ИНС имеет свою особенность, то есть при отсутствии предварительного опыта и базы данных мониторинга и проектирования коэффициенты весомости уравнений принимаются одинаковыми и определяются по формуле

$$\gamma_k = 1/k, \quad (1)$$

где  $k$  – количество уравнений, используемых для расчета определенного показателя

качества пряжи или другого продукта прядильного производства.

В случае определения норм удельной разрывной нагрузки пряжи первоначально используются значения  $\gamma_k = 0,2$ . В дальнейшем для уточнения коэффициентов  $\gamma_k$  предлагается использование соотношения сигнал/шум [3], которое можно количественно оценить с помощью коэффициента вариации расчетных значений относительно фактических данных мониторинга проектируемых показателей качества пряжи и других продуктов прядильного производства:

$$C_{vk} = 100 \sigma_{\gamma_k} / \bar{Y}_{факт}, \quad (2)$$

где  $\bar{Y}_{факт}$  – среднее арифметическое значение проектируемого показателя качества, определенное по фактическим данным.

В свою очередь среднее арифметическое значение проектируемого показателя

качества определяется по формуле:

$$\bar{Y}_{\text{факт}} = \sum_{j=1}^m (Y_{\text{факт}})_j / m, \quad (3)$$

где  $m$  – объем выборки данных мониторинга.

Выражение для определения коэффициентов весомости (силы синаптической связи) уравнений имеет вид:

$$\gamma_k = \frac{C_{vk}^{-1}}{\sum_{k=1}^{k_{\max}} C_{vk}^{-1}}. \quad (4)$$

Суммарное значение всех коэффициентов весомости уравнений равно 1,0.

Архитектура ИНС для проектирования критериев приемки по другим ЕПК пряжи отличается перечнем факторов  $x_i$ , по которым собраны исходные данные. Это, в свою очередь, определяет количество и содержание сигналов, поступающих на вход первого слоя нейронов каждой ветви. Вместе с тем, общий подход к построению ветвей ИНС не меняется, поэтому в рамках данной статьи изображения других четырех ветвей не приводятся.

Результаты проектирования номинальных значений по показателям  $P_y$ ,  $C_p$  и  $C_t$  должны согласовываться с требованиями применимых стандартов, которые предприятие обязалось выполнять. От результатов сопоставления зависит окончательный выбор номинальных значений, являющихся основанием для последующего технологического контроля. При наличии положительного запаса по качеству в качестве номинального значения используется полученное расчетное значение, в противном случае – заданное стандартное значение характеристики.

Рассмотрим пример реализации данной методики в условиях ОАО "ХБК "Шуйские ситцы" на Фурмановской прядильно-ткацкой фабрике № 3. Для обеспечения необходимой информацией был собран

массив данных мониторинга результативности технологических процессов за период с мая по сентябрь 2010 года, по которым определены усредненные значения ЕПР. Для выполнения текущей итерации проектирования номинальных значений использовался состав сортировки для выработки пряжи 18,5 текс. Определение расчетных значений проектируемых показателей качества пряжи осуществлено с использованием уравнений, отражающих причинно-следственные связи между входными и выходными параметрами на соответствующий момент времени (табл. 1). Результаты вычислений  $k$  значений для каждого показателя приведены в табл. 2. Далее для вычисления номинальных значений проектируемых показателей качества пряжи и полуфабрикатов производилось усреднение  $k$  расчетных значений с учетом одинаковой весомости соответствующих уравнений, поскольку априорной информации о значимости уравнений не было. Таким образом, в результате параллельного функционирования всех пяти ветвей ИНС должен быть сформирован массив проектируемых номинальных значений по выбранным единичным показателям качества пряжи.

Для последующей итерации проектирования номинальных значений пряжи коэффициенты весомости используемых уравнений должны быть скорректированы на величину неадекватности расчетных значений ЕПК соответствующим фактическим данным, измеренным при контроле технологических процессов. В рассмотренном примере данные измерений получены по результатам контроля (мониторинга) качества пряжи, проведенного в течение первой декады октября 2010 года (первичные данные мониторинга не приведены). Пример корректировки коэффициентов весомости уравнений регрессии для последующих итераций проектирования ЕПК пряжи приведен в табл. 3.

Таблица 2

Наименование показателя качества пряжи	Обозначение показателя	Расчетное значение ЕПК	Номинальное значение ЕПК
Удельная разрывная нагрузка	$P_{y1}$	10,8	11,98
	$P_{y2}$	12,4	
	$P_{y3}$	11,0	
	$P_{y4}$	14,2	
	$P_{y5}$	11,5	
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке	$C_{p1}$	21,1	16,36
	$C_{p2}$	14,3	
	$C_{p3}$	14,8	
	$C_{p4}$	16,5	
	$C_{p5}$	15,1	
Коэффициент вариации по линейной плотности	$C_{m1}$	3,8	4,4
	$C_{m2}$	4,5	
	$C_{m3}$	4,6	
	$C_{m4}$	4,4	
	$C_{m5}$	4,7	
Количество пороков на 1000 м	$N_1$	182	146
	$N_2$	125	
	$N_3$	99	
	$N_{p4}$	154	
	$N_5$	170	
Коэффициент использования разрывной нагрузки волокон	$K_{исп1}$	0,67	0,662
	$K_{исп2}$	0,72	
	$K_{исп3}$	0,59	
	$K_{исп4}$	0,63	
	$K_{исп5}$	0,70	

Таблица 3

Наименование определяющего ЕПК пряжи	Среднее измеренное значение ЕПК пряжи $\bar{Y}$	Величина среднего квадратического отклонения $\sigma_{Yk}$	Величина коэффициента весомости уравнения $\gamma_k$
Удельная разрывная нагрузка	11,05	1,893	0,207
		1,829	0,214
		1,809	0,217
		3,033	0,129
		1,688	0,232
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке	16,5	3,945	0,153
		3,691	0,164
		3,258	0,185
		2,032	0,297
		3,008	0,201
Коэффициент вариации по линейной плотности	4,5	0,863	0,082
		0,307	0,232
		0,286	0,249
		0,357	0,199
		0,298	0,239
Количество пороков на 1000 м	184,4	13,297	0,406
		60,823	0,089
		86,396	0,063
		33,094	0,164
		19,453	0,278
Коэффициент использования разрывной нагрузки волокон	0,594	0,127	0,184
		0,168	0,139
		0,082	0,285
		0,099	0,236
		0,151	0,155

Таким образом, наибольший вклад в проектирование конкретного показателя качества пряжи будет вносить то уравнение, которое обладает наибольшей адекватностью, то есть близостью проектируемых значений к фактическим значениям. В отдельных реализациях нейронной сети коэффициент весомости уравнения может снизиться до статистически незначимой величины, что влечет за собой пересмотр или исключение уравнения (нейрона) из общего алгоритма.

## ВЫВОДЫ

1. Сформулирован единый подход и разработана методика проектирования номинальных значений определяющих показателей качества текстильных изделий на основе методологии рекуррентных искусственных нейронных сетей.

2. На примере кардной хлопчатобумажной пряжи определены коэффициенты эмпирических уравнений, используемых в

качестве нейронов искусственной нейронной сети, конкурирующих друг с другом.

3. Определены номинальные значения по таким показателям качества пряжи, как удельная разрывная нагрузка, коэффициент вариации по разрывной нагрузке, коэффициент вариации по линейной плотности, число пороков на 1000 м, коэффициент использования прочности волокон в пряже.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Матрохин, А.Ю., Чистякова Н.Э., Гусев Б.Н.* Определение эффективности технологического процесса // Методы менеджмента качества. – 2005, №11. С. 6...9.

2. *Оссовский С.* Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского. – М.: Финансы и статистика, 2002.

3. *Леон Р., Шумейкер А.* Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагути. – М.: ООО "Сейфи", 2002.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии ИГТА. Поступила 03.04.12.