

## КОСВЕННАЯ ОЦЕНКА АСИММЕТРИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС ОТРЕЗКОВ ПРЯЖИ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ НЕРОВНОТЫ ПО ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ

Е.В. Назаренко, Д.Б. Рыклин

УДК 677.017.31

### РЕФЕРАТ

*НЕРОВНОТА ПО ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ, ДИАГРАММА МАСС, АСИММЕТРИЯ, КОСВЕННАЯ ОЦЕНКА, КВАДРАТИЧЕСКАЯ НЕРОВНОТА, ЛИНЕЙНАЯ НЕРОВНОТА, ГИСТОГРАММА МАСС*

Объект исследования – образцы хлопчатобумажной пряжи, выработанной по кардной системе прядения на кольцевых и пневмомеханических прядильных машинах. Оценка показателей неровноты образцов пряжи проводилась при помощи прибора Uster® Tester 5-S400.

Целью работы было установление взаимосвязи между значениями асимметрии распределения масс отрезков пряжи и показателями неровноты по линейной плотности для возможности последующей оценки степени влияния значения асимметрии на прочность пряжи.

Для достижения указанной цели были использованы методы математической статистики и обработки данных, а также прикладные программы MATLAB 7.11.0, Statistica for Windows, MS Excel.

В результате исследований было установлено, что с увеличением численного значения отношения квадратической неровноты кардной пряжи кольцевого способа формирования к ее линейной неровноте увеличивается и значение асимметрии.

Получена математическая зависимость, позволяющая определить значение асимметрии с помощью показателей неровноты, получаемых на приборе Uster® Tester. Данная зависимость позволяет косвенно оценить численное значение отклонения распределения масс отрезков пряжи на основе имеющихся данных.

Одним из важнейших показателей, характеризующих качество пряжи, выступает относительная разрывная нагрузка, которая позволяет осуществлять контроль производства и прогнозировать прочностные характеристики тканей.

### ABSTRACT

*LINEAR DENSITY UNEVENNESS, DIAGRAM MASS, SKEWNESS, INDIRECT ESTIMATION, QUADRATIC IRREGULARITIES, LINEAR IRREGULARITIES, HISTOGRAM MASS*

The quadratic (CV) and the linear (U) measures of irregularity are based on the standard deviation and the mean deviation. The CV/U ratio is 1,25 for Gaussian distribution, but the distribution of the weights of cut pieces of cotton yarns is slightly skewed. Skewness is a measure of the asymmetry of the probability distribution of a real-valued random variable about its mean. The skewness value can be positive or negative. The CV/U ratio for cotton yarns can be determined according to the USTER® TESTER data. The relation between the skewness value and the CV/U ratio for carded ring-spun cotton yarns was investigated. It's necessary for subsequent determination of the relation between tenacity and skewness. The mathematical model for calculating the skewness value based on the unevenness parameters was developed. The relative error between the results of calculations does not exceed 5 %.

Априорный расчет относительной разрывной нагрузки пряжи позволяет оценить правильность составления сортировки. Поэтому разрывная нагрузка является наиболее часто применяемым оценочным критерием качества пряжи [1].

На прочность пряжи существенное влияние оказывают линейная плотность пряжи и ее неровнота по данному показателю, свойства волокон (относительная разрывная нагрузка, линейная плотность, штапельная длина), а также состояние оборудования, используемого в процессе производства.

Влияние неровноты по линейной плотности на прочностные характеристики пряжи обуславливается наличием утоненных участков, содержащих меньшее количество волокон в сечении. Кроме того, при кручении волокнистого продукта, имеющего неровноту по линейной плотности, различным его участкам сообщается различная крутка в связи с тем, что утолщенные участки, содержащие большее количество волокон в сечении имеют большую жесткость на кручение, чем утоненные [2]. В формулах профессоров Соловьёва А.Н. и Усенко В.А. для расчета разрывной нагрузки пряжи введен коэффициент, учитывающий снижение прочности при критической крутке, вызванное неровнотой по линейной плотности [3].

Однако в большинстве случаев при оценке влияния неровноты на разрывную нагрузку пря-

жи расчет осуществляется без учета информации о законе распределения масс отдельных ее отрезков, что снижает точность прогноза.

В настоящее время для оценки неровноты продуктов прядения используются электронно-емкостные приборы Uster Tester или их аналоги. На рисунке 1 приведены диаграммы изменения масс отрезков хлопчатобумажной пряжи, полученной по кардной системе прядения. Вертикальная ось диаграммы представляет собой отклонение массы в процентах от нулевой линии, соответствующей среднему значению массы отрезка. Горизонтальная ось диаграммы соответствует длине материала, прошедшего через емкостной датчик прибора [4].

Анализируя рисунок 1, можно отметить положительную асимметрию распределения масс отрезков пряжи кольцевого способа формирования (б). Распределение масс отрезков пряжи, полученной пневмомеханическим способом формирования, можно считать симметричным.

Асимметрия закона распределения оказывает влияние на физико-механические свойства пряжи кольцевого способа прядения. Разрывная нагрузка пряжи определяется прочностью наи-

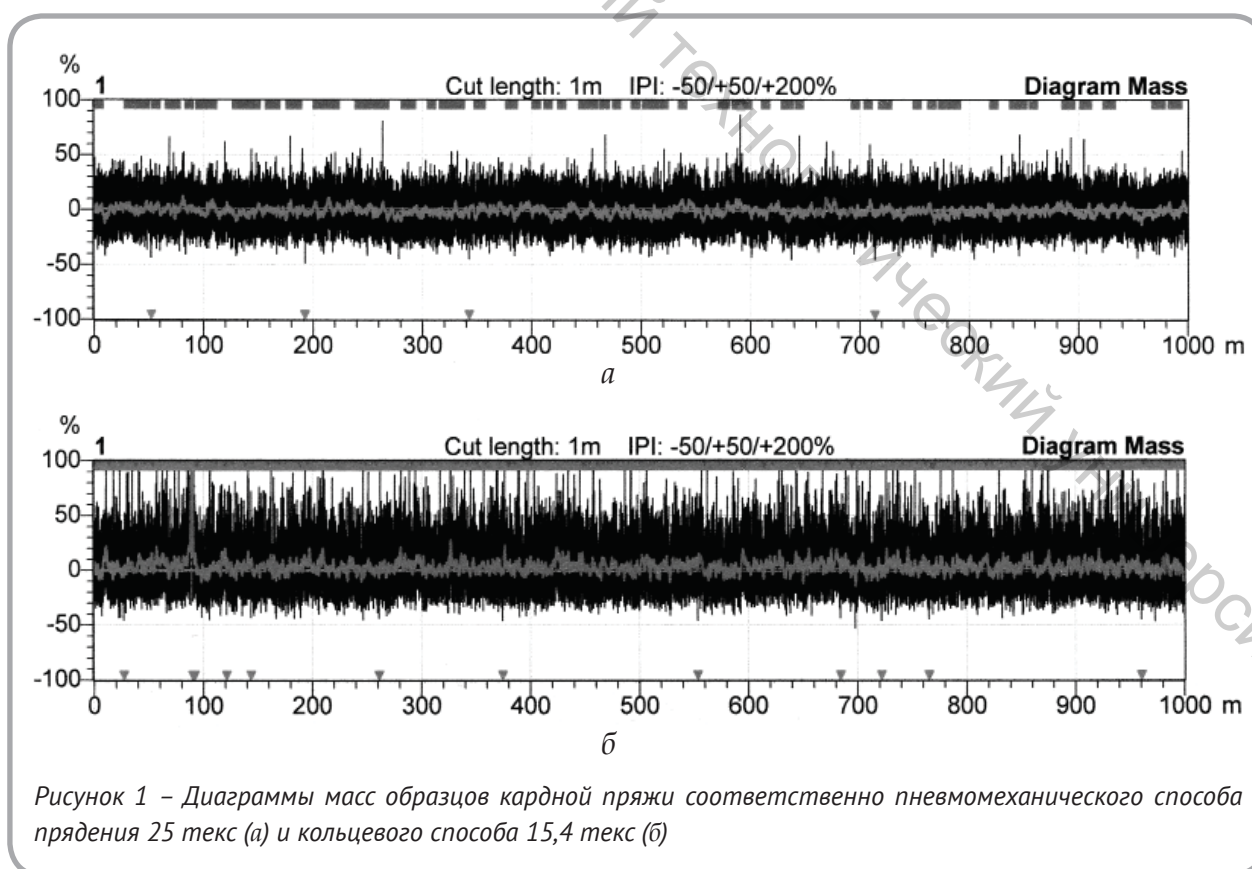


Рисунок 1 – Диаграммы масс образцов кардной пряжи соответственно пневмомеханического способа прядения 25 текс (а) и кольцевого способа 15,4 текс (б)

более слабого ее места на участке зажимной длины. В большинстве случаев таким местом является наиболее тонкое сечение пряжи, в котором находится минимальное количество волокон. При отсутствии асимметрии распределения количество волокон в наиболее утоненном месте можно определить как

$$n_{min} = \bar{n} - \Delta, \quad (1)$$

где  $\bar{n}$  – среднее количество волокон в сечении пряжи;  $\Delta$  – половина поля рассеяния случайной величины (количества волокон в сечении).

При асимметрии закона распределения формула (1) может быть записана в следующем виде:

$$n_{min} = \bar{n} - k \cdot \Delta, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент, характеризующий асимметрию закона распределения.

Так как при положительной асимметрии  $k < 1$ , в сечение утоненного участка попадает большее количество волокон, чем в случае нормального закона распределения. Таким образом, можно утверждать, что асимметричность распределения масс отрезков пряжи кольцевого способа прядения может рассматриваться как упрочняющий фактор, оказывающий существенное влияние на ее разрывную нагрузку.

На приборах USTER® TESTER для исследуемых образцов пряжи можно оценить такие показатели неровноты, как коэффициент вариации по массе, линейная неровнота, индекс неровноты и другие. Для численного определения значения асимметрии необходимо осуществлять экспорт на внешние носители информации данных по каждому образцу, представляющих собой крупные массивы значений процентного отклонения масс отрезков от среднего значения, и при помощи программ математической статистики обрабатывать их. Ввиду указанной трудоемкости определения численного значения асимметрии, поиск возможностей ее косвенной оценки является актуальной задачей.

Целью данной работы было определение взаимосвязи асимметрии распределения масс отрезков и показателей неровноты пряжи по линейной плотности, определяемых при помо-

щи прибора USTER® TESTER, для возможности последующей оценки степени влияния значения асимметрии на прочность пряжи. Разработка современной методики прогнозирования прочности пряжи с учетом данных об асимметричности распределения масс отрезков текстильных нитей разного состава и структуры позволит значительно усовершенствовать существующие методы оценки прочности пряжи.

Для определения возможной взаимосвязи значений неровноты и асимметрии были исследованы образцы хлопчатобумажной пряжи, произведенной по кардной системе прядения, по данным, полученным на приборе USTER®TESTER 5-S400. Объектами исследований являлись образцы пряжи линейной плотности от 10 до 20 текс, полученной кольцевым способом прядения, и образцы пряжи линейной плотности от 25 до 29 текс, выработанной на пневмомеханических прядильных машинах. Как было указано выше, исследуемые данные представляют собой одномерный массив процентного отклонения масс отрезков от среднего значения массы. По полученным данным становится возможным рассчитать показатели неровноты пряжи.

Неравномерность пряжи по линейной плотности можно оценить при помощи значения асимметрии распределения масс отрезков относительно среднего значения. Данный показатель позволяет определить симметричность распределения вариантов в выборочных статистических совокупностях по отношению к среднему [5].

В общем случае асимметрия  $A$  определяется следующим выражением [6]:

$$A = \frac{\mu^3}{\sigma^3} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot \sigma^3}, \quad (3)$$

где  $\mu$  – среднее отклонение вариантов от среднеарифметического;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  $\bar{x}$  – среднее значение из вариантов,  $x_i$  – значение варианта;  $n$  – количество вариантов.

Распределение считается почти симметричным, если  $|A| < 0,1$ , и сильно асимметричным, если  $|A| > 0,5$ .

На значения асимметрии распределения оказывают влияние многочисленные факторы. Как

показали результаты предварительных исследований, асимметрия выше у нитей с меньшей линейной плотностью, то есть с большей неровнотой по линейной плотности на коротких отрезках. Кроме того, на асимметричность распределения влияет качественный и количественный состав многокомпонентной смеси. Для хлопчатобязной пряжи распределение масс отрезков характеризуется повышенной асимметрией, что связано с тем, что льняное волокно обладает большей неровнотой по длине и линейной плотности, чем хлопковое.

Помимо значений асимметрии неравномерность пряжи можно оценить при помощи показателей квадратической и линейной неровноты. Квадратическая неровнота по линейной плотности  $CV$  определяется как отношение среднеквадратического отклонения к среднему арифметическому. На приборах USTER® TESTER можно найти линейную неровноту  $U$ , которая характеризует среднеарифметическое отклонение показателя в процентах относительно среднего значения и рассчитывается как отношение двух площадей следующим образом (рисунок 2):

$$U = \frac{S_1}{S_2} \cdot 100 \% , \quad (4)$$

где  $S_1$  – площадь поверхности, ограниченной кривой изменения массы и отрезком BC, проходящим через среднее значение массы;  $S_2$  – площадь прямоугольника ABCD, ограниченного отрезком, проходящим через среднее значение массы, длиной измеряемого участка пряжи и осями координат.

Приближенно линейную неровноту можно определять по формуле Зоммера [7]:

$$U = \frac{2 \cdot (\bar{x} - \bar{x}_1) \cdot n_1}{n \cdot x} \cdot 100 \% , \quad (5)$$

где  $\bar{x}_1$  – среднее минимальное значение (среднее из показателей, меньших общего среднего значения  $\bar{x}$ );  $n_1$  – число значений, меньших общего среднего значения.

Известно, что если результаты испытаний имеют нормальное распределение, то между значениями среднеквадратической и линейной неровноты будет следующая зависимость [7]:

$$\frac{CV}{U} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1,25, \quad (6)$$

При асимметричном распределении отношение  $CV/U > 1,25$ . Для пряжи, вырабатываемой на прядильных фабриках, характерна определенная неровнота от вытягивания и механических повреждений. Поэтому численное значение отношения  $CV/U$  может варьироваться от 1,27 до 1,4 [8].

В работе [9] исследовалась взаимосвязь между квадратической и линейной неровнотой для джутовой пряжи. Асимметрия распределения варьировалась от +0,6 до +0,4 при изменении длины измеряемых отрезков от 2 дюймов до 24 дюймов. Для отрезков длин 12 дюймов и выше было отмечено снижение численного значения отношения  $CV / U$  от 1,30 до 1,28 в соответствии со снижением асимметрии. Можно заключить, что при увеличении длин измеряемых отрезков уменьшается асимметрия и, соответственно, отношение квадратической и линейной неровноты.

По полученным на приборе USTER® TESTER 5-S400 одномерным массивам данных при по-

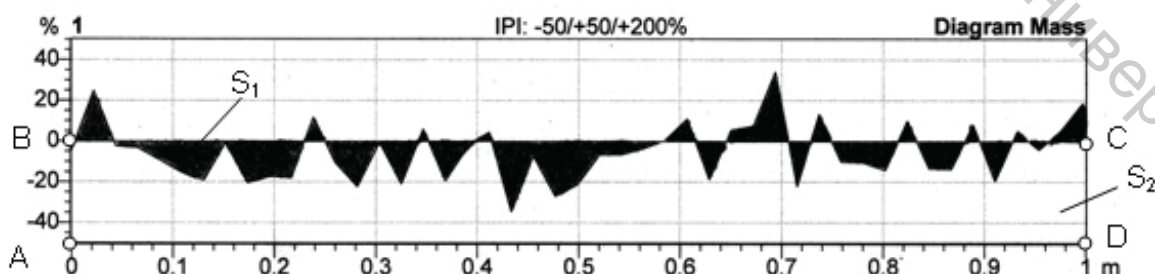


Рисунок 2 – Схема для расчета линейной неровноты продукта прядения

Таблица 1 – Показатели линейной неровноты исследуемых образцов пряжи

№ образца	Линейная плотность, текс	Способ формирования	Линейная неровнота $U$ , %		
			Результаты испытаний на Uster Tester	Метод площадей (формула (4))	Формула Зоммера (5)
I	18,5	кольцевой	13,45	12,81	17,77
II	14	кольцевой	12,10	10,73	10,42
III	15,4	кольцевой	13,06	12,20	8,46

мощи вышеприведенных формул можно рассчитать значения линейной неровноты методом площадей (формула (4)) и с применением формулы Зоммера (5). Данные сведены в таблицу 1.

Анализ полученных данных показывает, что формула (4) дает численные результаты, наиболее приближенные к экспериментальным данным. При расчетах по формуле Зоммера отклонения варьируются от 13,9 % до 35,2 %, при применении формулы (4) варьирование составляет от 4,8 % до 11,3 %. Можно предположить, что погрешность вычислений связана с тем, что на приборе USTER® TESTER 5-S400 расчет неровноты ведется с учетом масс отрезков длиной 1 см, в то время как используемый для вычислений массив данных характеризует значения изменения масс на интервале, приблизительно равном 4,33 см. Можно сделать вывод о том, что увеличение интервала оценки приводит к сглаживанию диаграммы масс и, соответственно, к закономерному уменьшению значений неровноты.

В таблице 2 сведены численные данные по отношению  $CV/U$ , полученные теоретически и экспериментально. Линейная неровнота рассчитывалась по формуле (4), квадратическая – как отношение среднеквадратического отклонения к среднему арифметическому.

Максимальное отклонение расчетного значения отношения  $CV/U$  от значения, полученного

при помощи прибора Uster Tester, составляет 3,88 %. Небольшая величина отклонения позволяет использовать данные с прибора USTER® TESTER 5-S400 для дальнейших расчетов, в частности, для определения асимметрии распределения масс отрезков.

Данные по исследуемым образцам пряжи, полученной на пневмомеханических и кольцевых прядильных машинах, приведены в таблице 3.

Анализируя данные таблицы 3, можно сделать вывод, что для пряжи пневмомеханического способа формирования отмечается повышенная равномерность и невысокие значения асимметрии, соответственно, отношение  $CV/U$  близко к значению 1,25, характерному для симметричного распределения. В случае кардной пряжи кольцевого способа формирования можно отметить, что с увеличением численного значения отношения  $CV/U$  увеличивается и значение асимметрии.

Для графической визуализации полученных результатов в прикладном математическом пакете MATLAB 7.11.0 по имеющимся массивам данных были построены гистограммы изменения масс. На рисунке 3 приведены примеры гистограмм для образцов пряжи пневмомеханического и кольцевого способа формирования, которые наглядно показывают степень асимметрии двух образцов.

Таблица 2 – Значения отношения среднеквадратической неровноты к линейной  $CV/U$

№ образца	Данные с Uster Tester			Расчетные данные		
	$U$ , %	$CV$ , %	$CV/U$	$U$ , %	$CV$ , %	$CV/U$
I	13,45	17,30	1,29	12,81	15,94	1,24
II	12,10	15,84	1,31	10,73	13,95	1,30
III	13,06	17,36	1,33	12,20	16,45	1,35

Таблица 3 – Исследуемые образцы пряжи

№ образца	Номинальная линейная плотность, текс	Способ формирования	Отношение $CV / U$	Асимметрия $A$
I	18,5	кольцевой	1,29	0,57
II	14	кольцевой	1,31	0,79
III	15,4	кольцевой	1,33	1,21
IV	20	кольцевой	1,27	0,45
V	16,8	кольцевой	1,29	0,57
VI	10	кольцевой	1,27	0,42
VII	25	пневмомеханический	1,26	0,21
VIII	29	пневмомеханический	1,26	0,28
IX	25	пневмомеханический	1,26	0,22

С целью установления взаимосвязи между указанными выше величинами была проведена аппроксимация данных для образцов кардной пряжи кольцевого способа формирования. Коэффициент корреляции составил 0,98. По результатам аппроксимации получена степенная регрессионная модель следующего вида:

$$A = \left( 0,758 \frac{CV}{U} \right)^{2,3} \quad (7)$$

Проверка адекватности уравнения регрессии осуществляется с помощью средней ошибки аппроксимации, величина которой не должна превышать 12 – 15 %. Для полученной модели средняя ошибка аппроксимации составила 3,1 % (отклонения расчетных значений асимметрии от значений, полученных по формуле (7), варьировались в интервале от 1,3 % до 5 %). Также для полученного уравнения регрессии определен коэффициент детерминации, показывающий, какая часть дисперсии результативного признака объяснена уравнением регрессии. Коэффициент детерминации  $R^2$  принимает значения в диапазоне от нуля до единицы, причем, чем больше  $R^2$ , тем большая часть дисперсии результативного признака объясняется уравнением регрессии и тем лучше уравнение регрессии описывает исходные данные. Коэффициент детерминации регрессионной модели (7) составил 0,991. Рассчитанные значения критерия Стьюдента превысили табличное значение 2,776, соответствующее выбранной доверительной вероятности 0,95 и числу степеней свободы, равному 4. Из

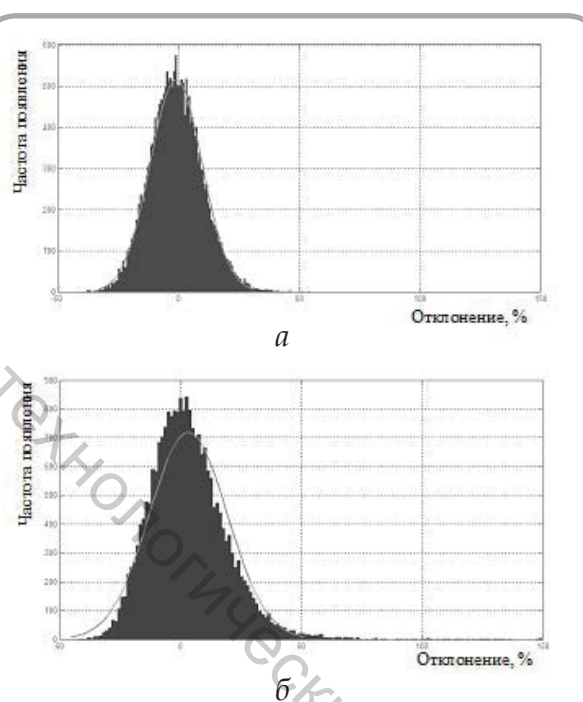


Рисунок 3 – Гистограммы изменения масс образцов кардной пряжи: а) пневмомеханического способа прядения 25 текс – образец VII; б) кольцевого способа прядения 15,4 текс – образец III

чего можно заключить, что коэффициенты регрессионной модели являются значимыми с данной доверительной вероятностью.

Графическая интерпретация полученной модели (7) представлена на рисунке 4.

Полученная модель будет использоваться при дальнейшем проведении работ по созданию методики прогнозирования физико-механических свойств пряжи.

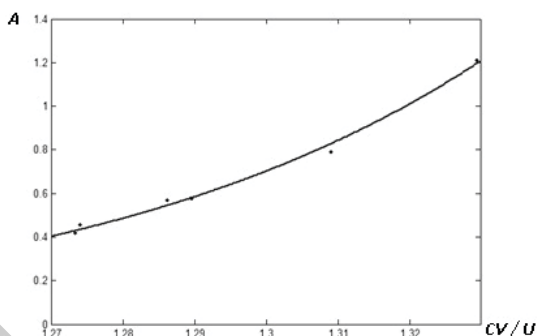


Рисунок 4 – Зависимость асимметрии от отношения квадратической неровности к линейной для образцов кардной пряжи

#### ВЫВОДЫ

1. Установлено, что асимметрия распределения масс отрезков пряжи является фактором, оказывающим существенное влияние на разрывную нагрузку пряжи.

2. Сопоставляя результаты испытания различных образцов пряжи на приборе Uster Tester 5, отмечено, что пряжа кольцевого способа прядения отличается существенной асимметрией распределения масс отрезков по сравнению с пряжей, полученной пневмомеханическим способом формирования.

3. На основании анализа результатов испытания пряжи установлено, что отношение ее квадратической и линейной неровности по линейной плотности может служить косвенным показателем для оценки асимметрии распределения масс отрезков пряжи. Получена регрессионная модель, которая будет использована при дальнейшем проведении работ по созданию методики прогнозирования физико-механических свойств пряжи. Использование данных об асимметричности распределения масс отрезков текстильных нитей позволит повысить точность прогноза разрывной нагрузки пряжи по сравнению с существующими методами оценки ее прочности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Коган, А. Г., Рыклин Д. Б., Скобова Н. В., Баранова А. А., Медveckий С. С., Соколов Л. Е. (2011), Проектирование хлопкопрядильного производства, УО «ВГТУ», Витебск, 395 с.
2. Рыклин, Д. Б., Коган, А. Г. (2002), Производство многокомпонентных праж и комбинированных нитей, УО «ВГТУ», Витебск, 215 с.
3. Борзунов, И. Г. (1982), Прядение хлопка и химических волокон, Легкая и пищевая промышленность, Москва, 376 с.
4. Uster Tester 5 : Application Handbook (2007), Uster Technologies AG.
5. Виноградов, Ю.С. (1970), Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности, Легкая индустрия, Москва, 312 с.

#### REFERENCES

1. Kogan, A. G., Ryklin, D. B., Skobova, N. V., Baranova, A. A., Medveckiy S. S., Sokolov L. E. (2011), Design of cotton spinning manufacturing [Proektirovanie hlopkoprjadil'nogo proizvodstva]. UO Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet - Educational Institution Vitebsk State Technological University, 395 p.
2. Ryklin, D. B., Kogan, A. G. (2002), Manufacturing of blended and hybride yarns [Proizvodstvo mnogokomponentnyh prjazh i kombinirovannyh nitej]. UO Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet - Educational Institution Vitebsk State Technological University, 215 p.
3. Borzunov, I. G. (1982), Spinning of cotton and man-made fibers [Prjadenie hloпка i himicheskikh volokon]. Legkaja i pishhevaja promyshlennost' - Light and Food industry, 376 p.

6. Хан, Г., Шапиро, С. (1969), Статистические модели в инженерных задачах, «Мир», Москва, 400 с.
7. Рыклин, Д.Б. (2010), Технология и оборудование для приготовления волокнистого настила, УО «ВГТУ», Витебск, 239 с.
8. Balasubramanian, N. "Yarn Irregularity – Concept and Measurement" [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://balajamuna.hpage.co.in/yarn-irregularity\\_40750954.html](http://balajamuna.hpage.co.in/yarn-irregularity_40750954.html)
9. Mukhopadhyay, S.K., Bandyopadhyay, S.K. (1962), Relation between Quadratic (CV) and Linear (U) Irregularities in Jute Yarns, Technological Research Laboratory, Indian Central Jute Committee, India, p. 247.
4. Uster Tester 5 : Application Handbook (2007), Uster Technologies AG.
5. Vinogradov, U. S. (1970), The mathematical statistics and its application in the textile and sewing industry [Matematicheskaja statistika i ee primenenie v tekstil'noj i shvejnoj promyshlennosti]. Legkaja industrija, Moskva - Light industry, Moscow, 312 p.
6. Han, G., Shapiro, S. (1969), Statistical models in engineering [Statisticheskie modeli v inzhenernyh zadachah]. «Mir», Moskva – “Mir”, Moscow, 400 p.
7. Ryklin, D. B. (2010), Technology and equipment for card mat manufacturing [Tehnologija i oborudovanie dlja prigotovlenija voloknistogo nastila]. UO Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet - Educational Institution Vitebsk State Technological University, 239 p.
8. Balasubramanian, N. "Yarn Irregularity – Concept and Measurement", available at: [http://balajamuna.hpage.co.in/yarn-irregularity\\_40750954.html](http://balajamuna.hpage.co.in/yarn-irregularity_40750954.html)
9. Mukhopadhyay, S.K., Bandyopadhyay, S.K. (1962), Relation between Quadratic (CV) and Linear (U) Irregularities in Jute Yarns, Technological Research Laboratory, Indian Central Jute Committee, India, p. 247.

*Статья поступила в редакцию 14. 04. 2014 г.*