

Научная статья

УДК 677.021

EDN MMUWAN

doi 10.34216/2587-6147-2023-2-60-20-24

Павел Николаевич Рудовский¹

Ирина Сергеевна Белова²

Нина Сергеевна Сахарова³

^{1,2} Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

³ Московский финансово-юридический университет МФЮА, Москва, Россия

¹ pavel_rudovsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8675-2910>

² belova_irina44@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4979-6436>

³ nina_ves@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4028-0599>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА КОНТАКТОВ МЕЖДУ ВОЛОКНАМИ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ПРОДУКТА ПРЯДЕНИЯ

***Аннотация.** Прочность продуктов прядения, формируемых мокрым вьюрковым способом, определяется силами адгезии, возникающими между контактирующими волокнами. Для прогнозирования прочности пряжи и ровницы, получаемых таким способом, необходимо знать количество контактов волокон в сечении продукта. Проведены исследования распределения волокон в сечении льняной ровницы, и предложена методика определения количества контактов волокон. Исходными данными являются оцифрованные изображения срезов ровницы, полученные с помощью цифрового микроскопа. После пороговой обработки изображения рассчитаны периметры и площади непрерывных участков, занимаемых сечениями волокон. Площадь одиночного волокна определяется как средняя площадь пяти наименьших участков в сечении. На основе анализа этих данных построена математическая модель зависимости числа контактов между волокнами от периметра сечения продукта прядения.*

***Ключевые слова:** прочность пряжи, прочность ровницы, адгезия волокон, силы адгезии, поперечное сечение ровницы, контактирующие волокна, прядение*

***Для цитирования:** Рудовский П. Н., Белова И. С., Сахарова Н. С. Определение числа контактов между волокнами в поперечном сечении продукта прядения // Технологии и качество. 2023. № 2(60). С. 20–24. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-2-60-20-24>.*

Original Article

Pavel N. Rudovskiy¹

Irina S. Belova²

Nina S. Sakharova³

^{1,2} Kostroma State University, Kostroma, Russia

³ Moscow University of Finance and Law MFUA, Moscow, Russia

DETERMINATION OF THE NUMBER OF CONTACTS BETWEEN FIBERS IN THE CROSS SECTION OF THE SPINNING PRODUCT

***Abstract.** The strength of spinning products formed by the wet finning method is determined by the adhesion forces that arise between the contacting fibers. To predict the strength of yarn and roving obtained in this way, it is necessary to know the number of fiber contacts in the cross section of the product. Studies of the distribution of fibers in the section of linen roving have been carried out and a method for determining the number of fiber contacts has been proposed. The initial data are digitized images of roving sections obtained using a digital microscope. After threshold processing of the image, the perimeters and areas of continuous sections occupied by fiber sections were calculated. The area of a single fiber is defined as the average area of the five smallest sections in the section. Based on the analysis of these data, a mathematical model of the dependence of the number of contacts between fibers on the perimeter of the section of the spinning product was constructed.*

© Рудовский П. Н., Белова И. С., Сахарова Н. С., 2023

Keywords: *yarn strength, roving strength, fibre adhesion, adhesion forces, roving cross section, contacting fibres, spinning*

For citation: Rudovskiy P. N., Belova I. S., Sakharova N. S. Determination of the number of contacts between fibers in the cross section of the spinning product. *Technologies & Quality*. 2023. No 2(60). P. 20–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-2-60-20-24>.

Прочность льняного некрученого продукта (бескруточной ровницы, вьюрковой пряжи) обеспечивается благодаря пектинам, входящим в состав льняного волокна, т. е. силами адгезии, возникающими между волокнами. В исследовании [1] показано, что эти силы пропорциональны площади контакта между волокнами. Таким образом, для оценки прочности продукта прядения необходимо определить количество контактов между волокнами в продукте, а также длину участков скольжения соседних волокон.

Количество контактов между волокнами зависит от распределения волокон по поперечному сечению продукта прядения.

Ранее была предложена так называемая гексагональная модель распределения волокон по сечению волокнистого продукта [2]. В этой модели сечения волокон представлялись равными окружностями, плотно заполняющими шестиугольник. При таком расположении каждое волокно касается шести соседних волокон.

В исследовании [3] проведена экспериментальная проверка формул для оценки прочности ровницы, полученных на основе предложенной модели. Очевидно, что данная модель представляет сечение идеального продукта.

Отечественными учеными [4] предложена модель поперечного сечения прядильного продукта, более близкая к реальности. В ней учтено случайное расположение волокон в сечении продукта прядения, а также распределение волокон по поперечным размерам. Закон распределения волокон по сечению задается алгоритмом без учета экспериментальных данных. Полученная модель также не позволяет выявить достаточно точную зависимость прочности продукта от его структурных параметров.

В действительности поперечное сечение продукта прядения состоит из множества сечений волокон произвольной формы. Они заполняют некоторую округлую область без четко выраженных границ. Расположение волокон в поперечном сечении одиночной нити рассмотрено К. И. Корицким [5]. Проведены исследования распределения волокон по поперечным сечениям пряжи кольцевого прядения [6]. Отмечено, что в центральной части рассматриваемой области сечения волокна располагаются достаточно близко, касаясь друг друга. При удалении от

центра волокна удаляются друг от друга. Поперечное сечение бескруточной ровницы, полученной мокрым способом, имеет выраженную вытянутую форму. Это обусловлено тем, что на выходе из формирующего механизма мычка имеет форму ленточки [7] и не подвергается дальнейшему кручению. Для повышения степени адекватности модели прочности бескруточного продукта прядения необходимо изучение формы сечений и распределения волокон в них.

Были проведены экспериментальные исследования поперечных сечений продуктов прядения на примере льняной ровницы. Для проведения эксперимента были отобраны образцы крученой и бескруточной льняной ровницы линейной плотности 550 текс. Для фиксации волокон в поперечном сечении образцы пропитывались жидким парафином, а затем доводились до нормальной температуры. Из полученных образцов с помощью санного микротомы МС-2 было выполнено по 10 поперечных срезов толщиной 10...30 мкм для каждого вида ровницы.

Затем с помощью цифрового микроскопа Levenhuk 870T с увеличением объектива 4× были получены цифровые изображения. Типовые изображения полученных срезов представлены на рисунке 1.

Анализ полученных изображений показал, что наибольшая часть волокон располагается в центральной части среза. При удалении от центра количество волокон уменьшается. Определить точно границы участков, заполненных волокнами, достаточно сложно. С помощью программы Adobe Photoshop полученные цифровые изображения поперечных сечений льняной ровницы были преобразованы в монохромные изображения с целью более четкого определения границ волокон.

Соприкасаясь друг с другом, сечения волокон сливаются в единое пятно произвольного размера и формы. С помощью компьютерной программы была проведена бинаризация полученных монохромных изображений со средним пороговым значением 67. Полученное изображение состоит из пикселей, имеющих фиксированные размеры. Поэтому за основу для последующих исследований предложено взять распределение черных и белых пикселей на изображении.

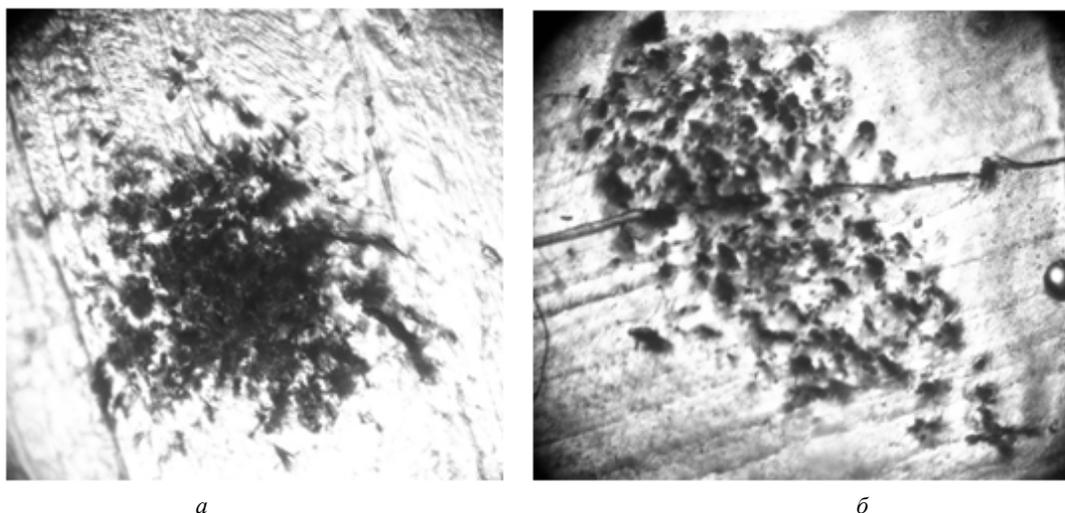


Рис. 1. Изображения поперечных срезов льняной ровницы:
а – крученой; б – бескруточной

Обработка бинаризованных изображений проводилась с помощью специально созданной компьютерной программы. Очевидно, что черные пятна на бинаризованном изображении являются изображениями волокон и групп волокон, расположенных в контакте друг с другом. В качестве изображения одиночных волокон принимались пять темных участков, имеющих наименьшую площадь. Количество пикселей в таких пятнах принято за площадь одиночного волокна. При этом установлено, что средняя площадь одиночного волокна равна 9 пикселям. В результате анализа изображений полученных поперечных сечений было определено среднее количество волокон, входящих в состав сечения. Также с помощью программы было определено среднее количество контактирующих волокон, образующих поперечное сечение продукта прядения.

Так как изображение поперечного сечения текстильного продукта представляет собой пятно произвольной округлой формы, состоящее из контактирующих волокон, было предложено установить зависимость количества контактов волокон от площади (числа волокон) и периметра сечения (в пикселях).

Для получения данной зависимости был проведен анализ простейших моделей расположения контактирующих волокон при заданном их количестве. Так как обработка реальных изображений проводилась в пиксельной форме, а также для удобства подсчета, волокно было представлено квадратом, состоящим из $c \times c$ пикселей.

На начальном этапе была рассмотрена простейшая модель сечения, представляющая собой цепочку из сечений волокон длиной nc

пикселей, где n – количество контактирующих волокон, образующих сечение продукта прядения. С целью установления зависимости количества контактов между волокнами от площади и периметра полученного сечения модель усложнялась путем сложения модельного продукта. На каждом этапе изменения модели сечения производился подсчет периметра и количества контактов между волокнами. В результате были получены формулы (1), (2), выражающие зависимость периметра сечения P , а также количества контактов Z от количества сложений N :

$$P = \frac{2nc + 2N^2c}{N}, \quad (1)$$

$$Z = \frac{(2N - 1)nc - N^2c}{Nc}. \quad (2)$$

Исключив из этих выражений N – число сложений, получили зависимость $Z(P)$:

$$Z(P) = \frac{8nc(P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2}) - 16nc^2}{4c(P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2})} - \frac{(P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2})^2}{4c(P \pm \sqrt{P^2 - 16nc^2})}. \quad (3)$$

Анализ полученной формулы показал, что при выборе знака « \pm » она не имеет физического смысла. Поэтому в качестве математической модели, позволяющей определить число контактов между волокнами продукта прядения в зависимости от числа волокон и периметра его поперечного сечения, была принята следующая формула:

$$Z(P) = \frac{8nc(P + \sqrt{P^2 - 16nc^2}) - 16nc^2}{4c(P + \sqrt{P^2 - 16nc^2})} - \frac{(P + \sqrt{P^2 - 16nc^2})^2}{4c(P + \sqrt{P^2 - 16nc^2})} \quad (4)$$

Очевидно, что периметр продукта будет наибольшим при расположении волокон в сечении в одну линию, т. е. он не может быть больше, чем $P_{\max} = 2(nc + 1)$. Наименьшее значение периметр принимает в случае, если продукт в сечении имеет форму окружности, т. е. $P_{\min} = 2c\sqrt{\pi n}$. В результате анализа получен-

ных цифровых изображений сечения льняной ровницы экспериментально было установлено значение параметра $c \approx 3$ пиксела. Подставляя данное значение в формулу (4), а также задав количество n контактирующих волокон, можно построить график полученной зависимости.

Используя справочные данные [8], а также учитывая линейную плотность продукта прядения, используемого для эксперимента, было установлено значение количества волокон в сечении $n \approx 987...4400$ шт.

На рисунке 2 представлены графики полученной математической модели при различных значениях количества контактирующих волокон n в поперечном сечении льняной ровницы.

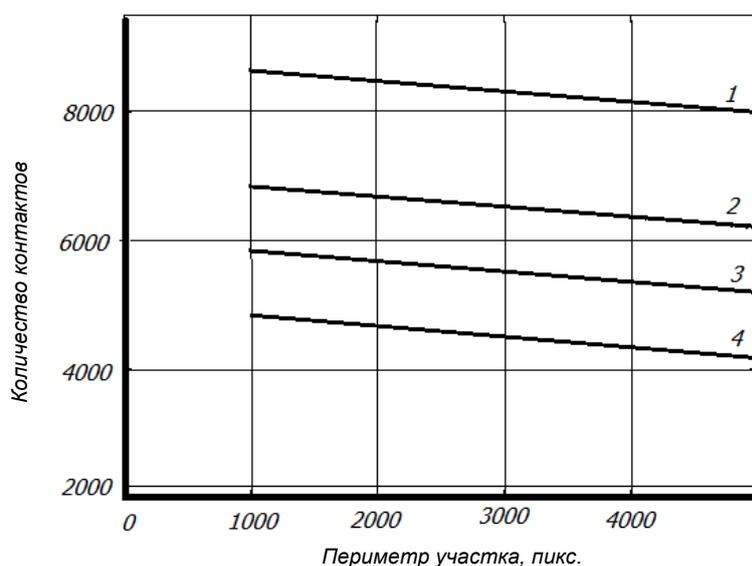


Рис. 2. Зависимость количества контактов между волокнами от периметра поперечного сечения:
1 – $n = 4400$; 2 – $n = 3500$; 3 – $n = 3000$; 4 – $n = 2500$

Анализируя полученные графические модели, можно сделать вывод, что увеличение числа контактирующих волокон приводит к увеличению периметра поперечного сечения ровницы, а также росту числа контактов между волокнами. При постоянном количестве контактирующих волокон с увеличением периметра сечения количество контактов уменьшается.

Для установления соответствия между размерами пикселей на изображении и реальными размерами волокон были получены цифровые изображения микропровода диаметром 0,03 и 0,07 мм. Условия съемки совпадали с условиями съемки срезов ровницы. В результате получен масштаб для расчета размеров волокон на изображении, который составил 935 пикс./мм. С помощью полученных данных может быть осуществлен переход от экспери-

ментальных цифровых данных к реальным размерам поперечного сечения волокон и ровницы.

И. С. Беловой предложена формула для расчета суммарной длины контактирующих волокон [9]. Используя полученное значение количества контактов волокон, можно вычислить общую длину контакта волокон, входящих в состав продукта прядения, и, зная относительную силу адгезии, рассчитать прочность продукта прядения после сушки.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что волокна в сечении клеевых продуктов прядения вплотную прилегают друг к другу, что не позволяет непосредственно по фотографии среза волокна установить количество контактов между волокнами.

2. Получена зависимость числа контактов между волокнами, их количеством в сечении, периметром и площадью области, непрерывно заполненной волокнами.

3. Сведения о количестве контактов между волокнами, длине скольжения волокон и отнормальной силе адгезии позволяют рассчитать прочность продуктов прядения, получаемых бескруточным клеевым способом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белова И. С. Обоснование метода оценки адгезии волокнистых материалов к связующему при выработке пряжи клеевым способом // Технологии и качество. 2019. № 4(46). С. 3–7.
2. Рудовский П. Н., Смирнова С. Г. Математическая модель прочности мокрой бескруточной ровницы из льна. Деп. в ВИНТИ № 82-B2010 17.02.2010.
3. Палочкин С. В., Рудовский П. Н. Влияние сил поверхностного натяжения воды на прочность некрученной мокрой льняной ровницы // Вестник Московского государственного текстильного университета : сб. науч. тр. М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2009. С. 13–16.
4. Севостьянов П. А., Забродин Д. А., Дасюк П. Е. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств. М. : Тисо принт, 2014. 264 с.
5. Корицкий К. И. Основы проектирования свойств пряжи. М. : Гизлегпром, 1963. 246 с.
6. Рашкован И. Г. Методы оценки распределения волокон по перечным сечениям пряжи. М. : Легкая индустрия, 1970. 199 с.
7. Рудовский П. Н., Соркин А. П., Смирнова С. Г. Влияние условий формирования мокрой бескруточной ровницы на ее структуру и прочность // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2011. № 3(332). С. 34–38.
8. Прядение льна и химических волокон : справочник / под ред. Л. Б. Карякина, Л. Н. Гинзбурга. М. : Легпромбытиздат, 1991. 544 с.
9. Белова И. С. Оценка адгезии волокон к связующему // Сб. тр. Междунар. науч. конф., посвященной 110-летию со дня рождения проф. А. Г. Севостьянова. М., 2020. С. 12–15.

REFERENCES

1. Belova I. S. Substantiation of the method of assessing the adhesion of fibrous materials to the binder in the production of yarn by the adhesive method. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2019;4(46):3–7. (In Russ.)
2. Rudovsky P. N., Smirnova S. G. Mathematical model of the strength of a wet spinless roving made of flax. Dept. in VINITI No. 82-B2010 17.02.2010.
3. Palochkin S. V., Rudovsky P. N. Influence of surface tension forces of water on the strength of uncoiled wet linen roving. *MSTU Bulletin : Collection of works*. Moscow, Kosygin Moscow St. Techn. Univ. Publ., 2009. P. 13–16. (In Russ.)
4. Sevostyanov P. A., Zabrodin D. A., Dasyuk P. E. Computer modeling in the problems of research of textile materials and industries. Moscow, Tiso print Publ., 2014. 264 p. (In Russ.)
5. Koritsky K. I. Fundamentals of designing yarn properties. Moscow, Gizlegprom Publ., 1963. 246 p. (In Russ.)
6. Rashkovan I. G. Methods for estimating the distribution of fibers by the pepper sections of yarn. Moscow, Light industry Publ., 1970. 199 p. (In Russ.)
7. Rudovsky P. N., Sorkin A. P., Smirnova S. G. Influence of conditions of formation of a wet spinless roving on its structure and strength. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2011;3(332):34–38. (In Russ.)
8. Karyakin L. B., Ginzburg L. N. (eds.). Spinning flax and chemical fibers: reference. Moscow, Legprom bytizdat Publ., 1991. 544 p. (In Russ.)
9. Belova I. S. Assessment of fiber adhesion to binder. *Sb. tr. Mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoj 110-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A. G. Sevost'yanova* [Collection of scientific papers of the International Scientific Conference dedicated to the 110th anniversary of the birth of Professor A.G. Sevostyanov. Conference materials]. Moscow, 2020. Pp. 12–15. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 19.03.2023
Принята к публикации 10.05.2023

*Перевод названия источника выполнен авторами статьи / Translated by author's of the article.