

Научная статья

УДК 677.11:677.019

EDN YGHWLA

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-13-20>

Евгений Львович Пашин¹

Галина Александровна Попова²

Александр Валерьевич Орлов³

¹ Костромская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кострома, Россия

² Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, г. Томск, Россия

³ Костромской государственный университет, г. Кострома, Россия

¹ evgpashin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5871-874X>

² porovag61@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9293-5812>

³ aorlov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4995-3393>

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА

Аннотация. В условиях импортозамещения в текстильной промышленности актуальной проблемой является повышение качества льноволокна в новых селекционных сортах льна-долгунца. Это требует разработки быстрых и точных методов оценки качества волокна на основе прогнозирования относительной разрывной нагрузки и обрывности пряжи. Установлена необходимость при прогнозировании прядильной способности волокна учитывать такие факторы, как прочность на разрыв волокон, их оптоволоконную ширину как косвенную оценку их линейной плотности, а также варьирование этой ширины. Впервые предложен новый показатель качества волокна, связанный с указанными факторами. Были разработаны программно-аппаратные комплексы для испытания волокна малыми пробами, реализующие определение его свойств для последующего расчета предложенного показателя качества волокна. Экспериментальная проверка и апробация метода оценки качества волокна с использованием селекционных сортов льна-долгунца с заведомо разной технологической ценностью подтвердила эффективность рекомендуемых решений и средств контроля.

Ключевые слова: инструментальный метод, испытание, лен, волокно, прядильная способность, пряжа, обрывность, разрывное усилие, тонина

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-26-00147).

Для цитирования. Пашин Е. Л., Попова Г. А., Орлов А. В. Разработка инструментального метода испытания и показателя качества льняного волокна // Технологии и качество. 2025. № 1(67). С. 13–20. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-13-20>.

Original article

Evgeny L. Pashin¹

Galina A. Popova²

Alexander V. Orlov³

¹ Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

² Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Biotechnology, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

³ Kostroma State University, Kostroma, Russia

DEVELOPMENT OF AN INSTRUMENTAL METHOD FOR TESTING AND ASSESSING THE QUALITY OF FLAX FIBER

Abstract. In the context of import substitution in the textile industry, a pressing challenge is the improvement of fibre quality in newly developed breeding varieties of fibre flax (*Linum usitatissimum*). Addressing this issue requires the development of rapid and precise methods for fibre quality assessment based on predictive

modelling of relative breaking load and yarn breakage rates. It has been established that predicting the spinability of flax fibre necessitates consideration of factors such as fibre tensile strength, optical fibrewidth as an indirect measure of linear density, and the variability of this width. A novel fibre quality index, associated with these parameters, has been proposed for the first time. To facilitate fibre testing on small-scale samples, specialised hardware-software complexes have been developed, enabling the determination of fibre properties for subsequent computation of the proposed quality index. Experimental validation and testing of the fibre quality assessment method, using methods for growing of different flax kinds with known differences in fibre technological value, confirmed the effectiveness of the recommended approaches and quality control tools.

Keywords: *instrumental method, testing, flax, fibre, spinnability, yarn, breakage, breaking force, fineness*

Acknowledgements: the research was carried out with the financial support of a the grant from the Russian Science Foundation (project No. 23-26-00147).

For citation: Pashin E. L., Popova G. A., Orlov A. V. Development of an instrumental method for testing and assessing the quality of flax fiber. *Technologies & Quality*. 2025. No 1(67). P. 13–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2025-1-67-13-20>.

Введение. Проблема повышения качества льняного волокна как сырья для текстильной промышленности в настоящее время является актуальной. Ее решение связано не только с технологиями производства, но и с эффективностью селекции при создании новых сортов льна-долгунца. Однако внимание селекционеров к вопросам повышения прядильной ценности волокна в последнее время ослабело. Это подтверждается, например, прекращением осуществления дифференциации новых сортов при оценке ФГУ «Госсортосеть» по группам качества, установленных в соответствии с требованиями текстильной промышленности [1]. Это является одной из причин того, что текстильные предприятия для производства качественной пряжи (до 20 текс), пригодной для получения блузочных, плательных и сорочечных тканей, вынуждены закупать высококачественное волокно за границей. Такое положение дел требует активизации усилий по созданию сортов льна-долгунца с улучшенным качеством волокна.

Целью исследования является повышение эффективности контроля качества льноволокна при селекции на основе нового показателя его качества.

Научная новизна заключается в обосновании нового метода квалиметрии льна-долгунца в виде малых проб, обеспечивающего прогнозирование прядильной способности волокна.

Методы исследования. Свойства льняного волокна оценивали с использованием общепринятых методов их определения и расчета [2]. При обосновании показателя качества волокна применили метод интегрированного учета свойств волокна с учетом их взаимосвязи с его прядильной способностью. Использованы положения механики нити, теории надежности и статистический анализ. Степень влияния со-

ставляющих показателя качества на технологическую ценность волокна определили посредством регрессионного анализа.

Результаты исследования. Методические основы применяемых селекционерами методов оценки качества волокна созданы в середине прошлого века [3]. Они предусматривают оценку расчетной относительной разрывной нагрузки (далее – ОРН) волокна, в зависимости от прочности волокна на разрыв, его гибкости и линейной плотности. Эти методы характеризуются повышенной продолжительностью анализов, недостаточной точностью получаемых результатов в части прогнозирования прядильной способности волокон (далее – ПСВ), зависящей не только от ее разрывной нагрузки, но и от обрывности пряжи в процессе пряжеобразования [4, 5]. ПСВ определяется в зависимости от разрывной нагрузки (РН) пряжи с минимально возможной ее линейной плотностью и при нормированном уровне обрывности ω . Важность учета ω объясняется тем, что ликвидация обрывов пряжи занимает 40...60 % времени работы оператора прядильной машины [6]. Это ведет к снижению производительности труда в прядильном производстве, к увеличению расхода сырья, а в конечном итоге к росту себестоимости продукции.

Некоторые специалисты считают, что обрывность пряжи определяется только разрывным усилием волокна [3, 7]. Однако в работах известного материаловеда в области текстиля К. Е. Перепелкина получено доказательство влияния на обрывность пряжи не только ее разрывного усилия, но и его вариации [8].

Для понимания причинно-следственных связей между свойствами волокна и ПСВ исследуем ее структуру. Анализ проведем отдельно для РН и ω .

В. Г. Комаров применительно к льняной пряже [9] предложил ее разрывную нагрузку рассчитывать с применением следующей теоретико-экспериментальной модели:

$$PH = n p_0 D (1 - 0,0375 CV_{\text{пр}}), \quad (1)$$

где $n p_0$ – суммарное разрывное усилие волокон в виде совокупности элементарных волоконистых комплексов (далее – ЭК) при растяжении;

n – число ЭК в поперечном сечении пряжи;

p_0 – прочность на разрыв единичного ЭК;

D – эмпирический коэффициент, связанный с величиной линейной плотности, структурой пряжи и с условиями пряжеобразования;

$CV_{\text{пр}}$ – неровнота по прочности пряжи.

При дальнейшем анализе величину D будем принимать неизменной. Рассмотрим сомножитель $(1 - 0,0375 CV_{\text{пр}})$. Это выражение является универсальным и используется в ряде прогнозирующих моделей, предложенных не только для хлопка и шерсти, но и для химических и искусственных волокон [10]. В работе Е. А. Пестовской [11] отмечено, что величина $(1 - 0,0375 CV_{\text{пр}})$ является важнейшей составляющей, связанной с ПСВ. Ее основой является неровнота по прочности $CV_{\text{пр}}$. Поэтому важным

является понимание существа этой характеристики.

В части оценки разрывного усилия пряжи представляет интерес произведение

$$n p_0 (1 - 0,0375 CV_{\text{пр}}).$$

Используя положения механики нити, считаем, что неровнота по прочности пряжи $CV_{\text{пр}}$ при прочих равных условиях (условия ее получения и параметры крутки) определяется неровнотой размера ее поперечного сечения C_s . Закономерности формирования C_s исследованы [12]. Так, выявлена ее зависимость от линейной плотности пряжи $ЛП$, линейной плотности составляющих ее ЭК – $ЛП_{\text{в}}$, а также от вариации ЭК по их диаметру – $CV_{\text{дв}}$. Вид установленной зависимости следующий:

$$C_s = \frac{100}{\sqrt{ЛП/ЛП_{\text{в}}}} \sqrt{1 + 4 \left(\frac{CV_{\text{дв}}}{100} \right)^2}. \quad (2)$$

На рисунке 1 данная зависимость представлена для пряжи с линейной плотностью 15 текс. Из ее анализа следует, что неровнота площади сечения такой пряжи, а значит, и неровнота ее по прочности, зависят от линейной плотности ЭК и их вариации по диаметру. Особенно это проявляется при повышенных величинах $ЛП_{\text{в}}$ и $CV_{\text{дв}}$.

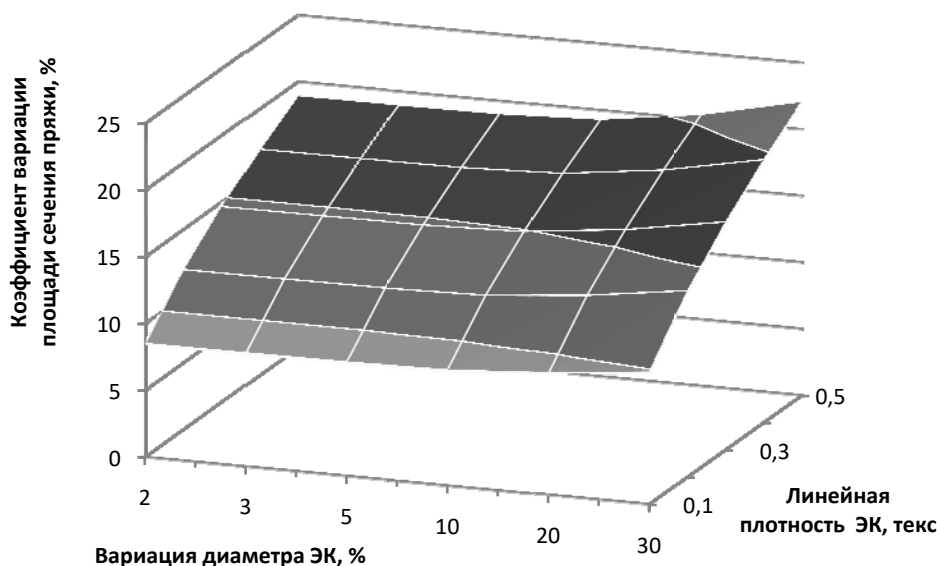


Рис. 1. Изменение C_s в зависимости от линейной плотности ЭК и их вариации по диаметру для пряжи с линейной плотностью 15 текс

Выявленный характер зависимости

$$CV_{\text{пр}} \approx C_s = f(T, T_{\text{в}}, C_{\text{дв}})$$

позволяет оценить степень влияния сомножителя $(1 - 0,0375 CV_{\text{пр}})$ на величину прочности пряжи, определяемой с использованием выражения (1). Примем этот сомножитель в виде ко-

эфициента K и исследуем его зависимость от характеристик, определяющих величину C_s при постоянстве слагаемого D в (1). На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента K от линейной плотности ЭК и их вариации по диаметру применительно к пряже с линейной плотностью 15 текс.

Из анализа графика следует, что разрывная нагрузка пряжи, наряду со свойствами, включенными в сомножитель $(1 - 0,0375 CV_{пр})$, зависит от $ЛП_v$ и $CV_{дв}$. При повышении вариации сечения C_s и при увеличении линейной плотности $ЛП_v$ составляющих пряжу ЭК разрывное усилие пряжи может снижаться на 50 % и более.

Особый интерес представляет оценка обрывности пряжи ω . Ее зависимость от свойств волокон проанализируем по аналогии связи обрывности волокон льна в процессе трепания льняного сырца [13]. Анализ при трепании льна-сырца был осуществлен с использованием положений теории надежности конструкций. Полагали, что факт обрыва зависит от отношения U – математического ожидания разности двух распределений при композиции нормальных законов изменения функций несвязанных между собой натяжения N и прочности волокон на разрыв PP , а также от среднего квадратического отклонения этих величин σ_U , получаемого сло-

жением данных функций. При этом величину PP будем рассчитывать с учетом влияния коэффициента $K = 1 - 0,0375 CV_{пр}$. Тогда вероятность обрыва ω будет определяться разностью

$$1 - \Phi\left(\frac{U}{\sigma_U}\right),$$

где $\Phi(\dots)$ – табулированная функция Лапласа.

Раскрывая эти выражения и принимая значение среднеквадратического отклонения в виде произведения коэффициента вариации CV_i на среднее арифметическое, величину обрывности пряжи ω определим по формуле

$$\omega = 1 - \Phi\left[\frac{\overline{PP} \cdot K - \bar{N}}{\sqrt{(CN_N \cdot \bar{N})^2 + CV_{прК} \cdot \overline{PP} \cdot K}}\right], \quad (3)$$

где $\overline{PP} \cdot K$ – среднее арифметическое прочности пряжи с учетом ее изменения на величину K ;

$\bar{N}$ – среднее арифметическое натяжения в зоне пряжеобразования;

$CN_N, CV_{прК}$ – соответственно, коэффициенты вариации натяжения пряжи и ее прочности на разрыв.

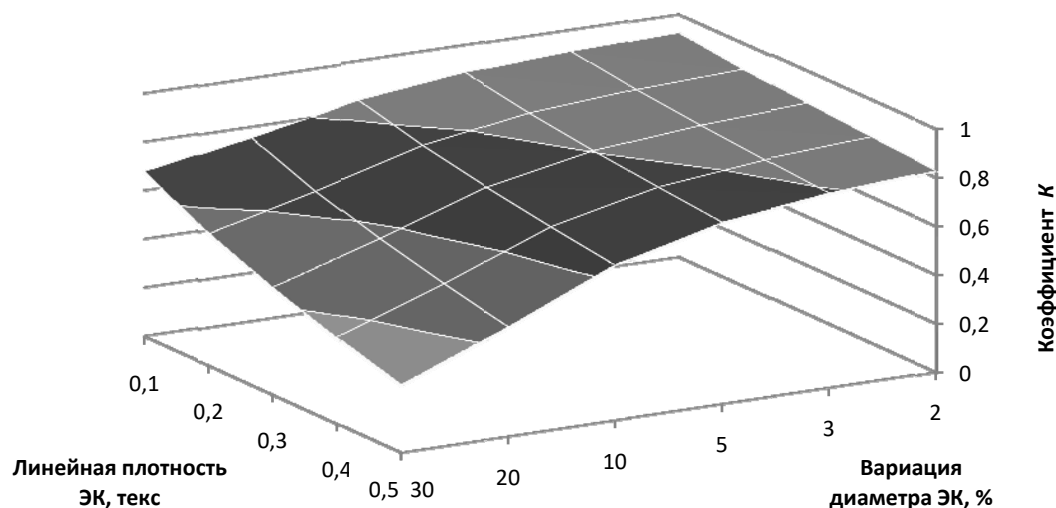


Рис. 2. Изменение коэффициента K в зависимости от линейной плотности ЭК и их вариации по диаметру для пряжи с линейной плотностью 15 текс

Из структуры (3) следует, что обрывность пряжи зависит не только от ее прочности на разрыв, но и (при прочих равных условиях силового нагружения при пряжеобразовании) [6] от вариации разрывного усилия. Это подтверждает правильность выводов К. Е. Перепелкина о роли вариации разрывного усилия в формировании обрывности пряжи. Графическое представление

этой зависимости проиллюстрировано на рисунке 3. График построен для типичных силовых нагружений [1] при получении пряжи линейной плотности 15 текс: натяжение $\bar{N} = 1$ Н; среднее квадратическое отклонение $\sigma_N = 1$ Н. Из представленного изменения вероятности обрыва ω пряжи следует влияние на ее величину не только прочности пряжи на разрыв и ее неровноты

по прочности, но также $ЛП_v$ – линейной плотности ЭК, а также вариации по их сечению.

При достаточно тонких волокнистых комплексах, составляющих пряжу, существенное влияние на вероятность ее обрыва начинает оказывать вариация ЭК по их поперечнику (условному диаметру). При значениях линейной плотности ЭК, равных 0,5 текс и более, с одновременно высокой вариацией по их диаметру ЭК вероятность обрыва пряжи близка к 100 %. При уменьшении значений названных характеристик вероятность разрыва пряжи заметно снижается.

Обобщая полученные результаты, оценку прядильной способности льноволокна ПСВ как интегрального показателя качества волокон (далее – ПКВ) следует осуществлять с учетом прогнозирования обрывности пряжи и по величине ее разрывной нагрузки. Последняя характеристика зависит от прочности составляющих структуру пряжи ЭК (примем обозначение: $np_0 = P_v$), их линейной плотности $ЛП_v$ и степени

варьирования диаметра CV_{dv} . При соблюдении указанных условий показатель ПКВ будет зависеть от P_v , $ЛП_v$ и CV_{dv} . Иными словами, зависимость $ПКВ = f(P_v, ЛП_v; CV_{dv})$ предлагается использовать при квалитметрии волокна на этапах селекции льна-долгунца.

Однако с учетом представленного на рисунках 2 и 3 степень влияния линейной плотности волокна $ЛП_v$ и коэффициента вариации его условного диаметра CV_{dv} на величину ПКВ различается. Для выявления степени этого отличия проведем оценку влияния предварительно нормированных характеристик $ЛП_v$ и CV_{dv} на величину разрывного усилия пряжи РН (при изменении коэффициента K), а также на вероятность обрыва пряжи ω . Применив регрессионный анализ, установили степень влияния указанных характеристик (табл. 1). При 95 % доверительной вероятности выявлено более значимое влияние на параметры качества пряжи линейной плотности ЭК по сравнению с вариацией их диаметра.

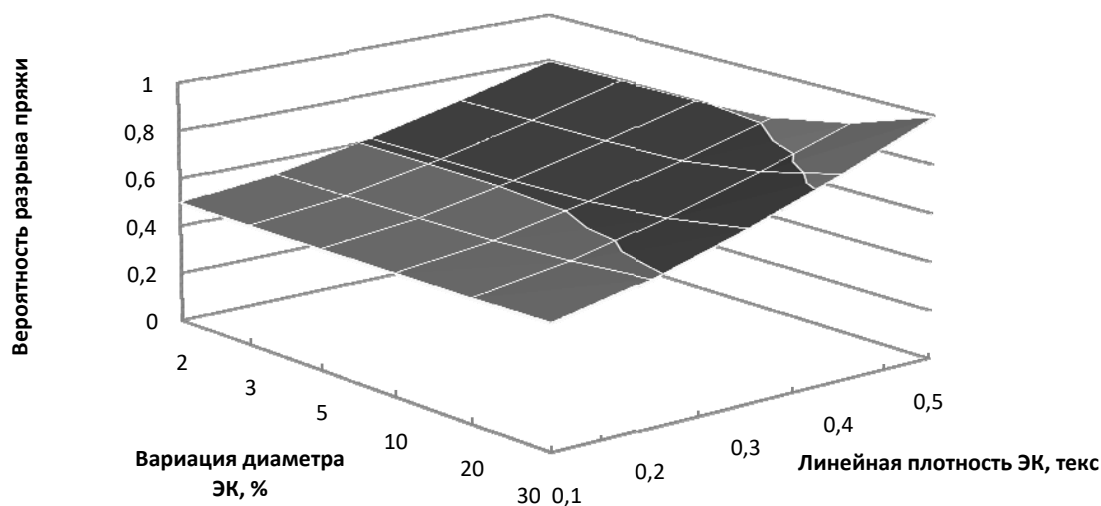


Рис. 3. Изменение вероятности разрыва пряжи ω в зависимости от линейной плотности ЭК и их вариации по диаметру для пряжи с линейной плотностью 15 текс

Т а б л и ц а 1

Степень влияния линейной плотности волокон и вариации ЭК (определяемых по общепринятым методикам [2]) на параметры качества пряжи

Параметр качества пряжи	Степень влияния характеристик, доля	
	$ЛП_v$	CV_{dv}
Обрывность	0,493	0,107
Разрывное усилие с учетом коэффициента K	0,532	0,03
Усредненное влияние	0,5	0,1

Одним из условий практической применимости выражения $ПКВ = f(P_v, ЛП_v; CV_{dv})$ является сокращение продолжительности испытания при определении линейной плотности волокнистых комплексов $ЛП_v$. Для этого возможно использование тесно связанной с ней харак-

теристики тонины волокна T как величины размера поперечного сечения в виде оптоволоконной ширины. Эта характеристика повсеместно используется при оценке линейной плотности шерсти [14]. Сложностей в оценке CV_{dv} не будет возникать, вследствие совпадения ее величины

с величиной вариации по тонине CV_T , которую можно оценивать по величине среднего квадратического отклонения CKO_T тонины волокон. При таких условиях анализ тонины T и CKO_T оценивают в микрометрах. Тогда в качестве показателя качества льняного волокна $ПКВ$ предлагается следующее выражение:

$$ПКВ = \frac{P_v}{T \sqrt{CKO_T}}, \quad (4)$$

где P_v – относительное разрывное усилие волокна¹, Н·см/г;

T – тонина волокна, мкм;

CKO_T – среднее квадратическое отклонение по тонине волокна, мкм.

Для определения предложенного показателя качества $ПКВ$ разработали специальную разрывную машину копрового типа [15] (рис. 4) и анализатор тонины волокна [16–18] (рис. 5), которые составили новый программно-аппаратный комплекс для испытания льняных волокон.

Особенностью созданных средств измерений является использование цифровых технологий для обработки исходных сигналов на ЭВМ. При применении разрывной машины исходными являются цифровые сигналы, получаемые от энкодера при контроле угловых координат активного зажима волокна на маятнике при его одноосном скоростном растяжении. Основой функционирования анализатора тонины волокна является использование технического зрения, реализуемого с применением цифрового микроскопа и алгоритма расчета оптоволоконной ширины волокон, определенных по всей длине волокон. Это обеспечивает получение среднего значения тонины T и CKO_T этой характеристики.

Апробацию нового инструментального метода испытания и предложенного показателя качества волокна $ПКВ$ осуществили с использованием двух селекционных сортов льна-долгунца, выращенных в условиях луночного питомника сотрудниками СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН. Эти сорта представляют разные группы по качеству волокна. Так, сорт Оршанский-2 обладает лучшим качеством волокна (1 группа), а сорт Томский 10 – худшим качеством (4 группа). Анализ провели применительно к двум видам тресты – моченцовой и стланцевой.

Результаты испытаний представлены в таблице 2. Их анализ выявил хорошее сходство характеристик и показателя качества с общеизвестной классификацией сортов [1] по качеству волокна. Так, лучший по качеству сорт Оршанский-2 по обоим видам тресты имел лучшие относительную разрывную нагрузку, тонины и неровноту по тонине. Как следствие, у данного сорта показатель качества волокна по обоим видам тресты оказался лучше, чем у сорта Томский 10.



Рис. 4. Разрывная машина

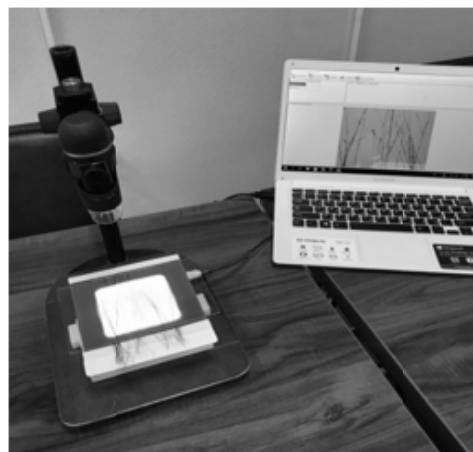


Рис. 5. Анализатор тонины волокна

ВЫВОДЫ

1. Решение проблемы повышения качества льноволокна как сырья для отечественной текстильной промышленности невозможно без новых достижений селекции, которая нуждается в эффективном (по продолжительности и точности анализа) методе прогнозирования прядильной способности волокна.

2. Прогнозируемая величина разрывной нагрузки и обрывности пряжи при неизменяющихся условиях прядения зависит от прочности элементарных волокнистых комплексов, их ли-

¹ P_v определяется как разрывное усилие отрезка волокна, умноженное на его длину и отнесенное к его массе. Длина пробы 20 см; масса пробы – масса волокна, выделенного из 20 см отрезка стебля.

нейной плотности и варьирования поперечного сечения.

3. С учетом возможной замены характеристики линейной плотности как тонкости волокон на величину диаметра их поперечника (тонина) для использования в селекции предложен новый показатель качества льняного волокна *ПКВ*, прямо пропорционально зависящий от относительной прочности волокон на разрыв и обратно пропорционально – от тонины и ва-

риации этой характеристики в виде среднего квадратического отклонения.

4. Созданный программно-аппаратный комплекс для испытания волокна и использование показателя *ПКВ* обеспечивают хорошее сходство характеристик и показателя качества волокна у различающихся по данной характеристике сортов льна-долгунца с общеизвестной классификацией сортов.

Т а б л и ц а 2

Степень влияния линейной плотности и вариации ЭК на параметры качества пряжи

Характеристика и интегральный показатель качества	Селекционный сорт			
	Треста моченицовая		Треста стланцевая	
	Оришанский-2	Томский 10	Оришанский-2	Томский 10
Относительное разрывное усилие $P_b \pm$ доверительный интервал, Н·см/г	0,216 $\pm$ 0,026	0,187 $\pm$ 0,037	0,195 $\pm$ 0,014	0,185 $\pm$ 0,038
Тонина волокна $T \pm$ доверительный интервал, мкм	70,900 $\pm$ 10,876	79,700 $\pm$ 11,649	95,880 $\pm$ 6,090	97,480 $\pm$ 3,790
Среднеквадратическое отклонение по тонине SKO_T , мкм	44,240	47,140	60,300	61,840
Показатель качества <i>ПКВ</i> , усл. ед.	0,032	0,016	0,016	0,015

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по прядению льна и химических волокон / под ред. Л. Б. Карякина, Л. Н. Гинзбурга. М. : Легпромбытиздат, 1991. 544 с.
2. Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. Текстильное материаловедение (исходные текстильные материалы) : учебник. М. : Легпромбытиздат, 1985. 216 с.
3. Шушкин А. А. Технологическая оценка селекционных сортов льна. М. : Ростехиздат, 1962. 104 с.
4. Иванов А. Н., Ремизова Т. В., Николаева Л. М. Технологическая оценка качества селекционных сортов льна // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1986. № 3. С. 20–23.
5. Как определить прядильную способность волокна / Г. Г. Новицкий, А. И. Сеницын, А. Н. Марченков [и др.] // Лен и конопля, 1989. № 5. С. 38–39.
6. Прядение льна : учебник / И. Ф. Смелская, Л. С. Ильин, В. И. Жуков, В. Н. Кротов. Кострома : Костром. гос. технол. ун-т, 2007. 544 с.
7. Ковалев В. Б. Метод оценки качества волокна в одиночных стеблях и микрообразцах соломы. М. : ЦНИИТЭИлегпром, 1969. 14 с.
8. Перепелкин К. Е. Комплексная оценка качества и работоспособности нитей в процессах получения и переработки // Химические волокна. 1991. № 2. С. 45–56.
9. Комаров В. Г. Проектирование свойств льняной пряжи. М. : Легкая индустрия, 1967. 102 с.
10. Predictive Models of Yarn Strength / A. Ghosh, S. M. Ishtiaque, S. Rengasamy, P. Mal // Overview – Article in Autex Research Journal. 2005. Vol. 5, No 1, March. URL: <https://www.researchgate.net/publication/236108456> (дата обращения: 6.01.2025).
11. Пестовская Е. А. Развитие теории и совершенствование технологических процессов мокрого прядения льна : монография. Иваново : ИВГТА, 2010. 200 с.
12. Севостьянов А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности : учебник. М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007. 646 с.
13. Пашин Е. Л. Агропроизводство и технологическое качество льна : монография. Кострома : ВНИИ по переработке лубяных культур, 2004. 208 с.
14. К выбору информативного показателя точности измерения тонины волокон шерсти с помощью электронной микроскопии / Т. К. Кулажанов, С. В. Вязигин, В. З. Кручанецкий, М. Б. Отыншиев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4(364). С. 44–49.
15. Пашин Е. Л., Орлов А. В. Испытательная система контроля разрывных характеристик волокон и нитей при скоростном растяжении // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 82, № 2. С. 60–64.

16. Пашин Е. Л., Орлов А. В. Метод подготовки цифрового изображения пробы лубяных волокон для оптической оценки их геометрических характеристик // Технологии и качество. 2018. № 1(39). С. 43–47.
17. Пашин Е. Л., Орлов А. В. Обоснование условий освещения лубяных волокон при оценке их толщины с использованием машинного зрения // Технологии и качество. 2019. № 1(43). С. 21–25.
18. Патент РФ на изобретение № 2779715. Способ оценки тонины лубяного волокна / Орлов А. В., Пашин Е. Л.; заявитель, патентобладатель Костромская ГСХА. Оpubл. 12.09.2022, Бюл. № 26.

REFERENCES

1. Karyakin L. B., Ginzburg L. N., ed. Handbook on Flax Spinning and Chemical Fibers. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1991. 544 p. (In Russ.)
2. Kukin G. N., Solovyov A. N. Textile Materials Science (Raw Textile Materials). Moscow, Legprombytizdat Publ., 1985. 216 p. (In Russ.)
3. Shushkin A. A. Technological Evaluation of Flax Breeding Varieties. Moscow, Rostechizdat Publ., 1962. 104 p. (In Russ.)
4. Ivanov A. N., Remizova T. V., Nikolaeva L. M. Technological Assessment of the Quality of Flax Breeding Varieties. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 1986;(3):20–23. (In Russ.)
5. Novitsky G. G., Sinitsyn A. I., Marchenkov A. N., et al. How to Determine the Spinnability of Fiber. *Lyon i konoplya* [Flax and Hemp]. 1989;(5):38–39. (In Russ.)
6. Smelskaya I. F., Ilyin L. S., Zhukov V. I., Krotov V. N. Flax Spinning. Kostroma, Kostrom. St. Technol. Univ. Publ., 2007. 544 p. (In Russ.)
7. Kovalev V. B. Method for Assessing Fiber Quality in Individual Stems and Micro-Samples of Straw. Moscow, TSIITEIllegprom Publ., 1969. 14 p. (In Russ.)
8. Perepelkin K. E. Comprehensive Assessment of Thread Quality and Performance in Production and Processing Processes. *Khimicheskie volokna* [Synthetic fibers]. 1991;(2):45–56. (In Russ.)
9. Komarov V. G. Designing the Properties of Flax Yarn. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1967. 102 p. (In Russ.)
10. Ghosh A., Ishtiaque S. M., Rengasamy S., Mal P. Predictive Models of Yarn Strength. Overview – Article in *Autex Research Journal*. 2005;5(1). URL: <https://www.researchgate.net/publication/236108456> (accessed 6.01.2025).
11. Pestovskaya E. A. Development of the Theory and Improvement of Technological Processes of Wet Flax Spinning. Ivanovo, Ivanov. St. Technol. Acad., 2010. 200 p. (In Russ.)
12. Sevostyanov A. G. Methods and Tools for Studying the Mechanicotechnological Processes of the Textile Industry. Moscow, Moscow. St. Technol. Univ. named after A. N. Kosygin Publ., 2007. 646 p. (In Russ.)
13. Pashin E. L. Agriproducts and Technological Quality of Flax. Kostroma, Russia Research Institute for Processing of Fiber Crops Publ., 2004. 208 p. (In Russ.)
14. Kulazhanov T. K., Vyazigin S. V., Kruchanetsky V. Z., Otynshev M. B. Selection of an Informative Indicator for Measuring the Fineness of Wool Fibers Using Electron Microscopy. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions (Series Textile Industry Technology)]. 2016;4(364):44–49. (In Russ.)
15. Pashin E. L., Orlov A. V. Testing System for Controlling the Breaking Characteristics of Fibers and Yarns during High-Speed Stretching. *Zavodskaya laboratoria. Diagnostika materialov* [Factory Laboratory. Materials Diagnostics]. 2019;85(2):60–64. (In Russ.)
16. Pashin E. L., Orlov A. V. Method for Preparing a Digital Image of Bast Fiber Samples for Optical Evaluation of Their Geometric Characteristics. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2018;1(39):43–47. (In Russ.)
17. Pashin E. L., Orlov A. V. Justification of Lighting Conditions for Bast Fibers Thickness Assessment Using Machine Vision. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2019;1(43):21–25. (In Russ.)
18. Orlov A. V., Pashin E. L. Method for Assessing the Fineness of Bast Fiber. Patent of the Russian Federation for Invention No. 2779715. Applicant and Patent Holder: Kostroma State Agricultural Academy, Publ. 12.09.2022, Bull. no. 26. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 16.12.2024
Принята к публикации 17.02.2025