

Научная статья
УДК 677.017.222
EDN LYETTQ
<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-2-72-18-24>

Евгений Львович Пашин¹
Александр Валерьевич Орлов²
Максим Александрович Смирнов³

¹Костромская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кострома, Россия

^{2,3}Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

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

²aorlov@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4995-3393>

³sma44@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6500-4518>

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОТСТУПА ОТ ЗАЖИМА БОРОДКИ И ЧИСЛЕННОСТИ ВОЛОКОН В НЕЙ НА ИХ РАСЧЕТНУЮ ДЛИНУ ПО МЕТОДУ HVI

Аннотация. Целью работы является оценка возможного влияния на величину средней длины волокон *ML* используемого в методе *HVI* при испытании в фибрографе отступа от линии зажима волокон на величину 3,81 мм, а также непостоянства толщины волокнистого слоя в бородке. Путем имитационного моделирования процессов образования системы зажима волокон в колодку и построения фиброграммы получено подтверждение о негативном влиянии изменчивости численности волокон в бородке, что снижает точность определения их средней длины *ML* по методу *HVI*. С повышением числа волокон в бородке отличие *ML* от истинной длины волокон возрастает. Также установлено, что при величине отступа 3,81 мм от края зажима до начала сканирования в фибрографе может формироваться погрешность при определении *ML*, особенно при анализе коротковолокнистого хлопка средней длиной примерно 20 мм. Сделано заключение о необходимости совершенствования метода определения длины волокон хлопка на фибрографе посредством учета всех волокон, составляющих бородку, и ее сканирования непосредственно от линии зажима.

Ключевые слова: волокно, хлопок, длина, *USTER HVI*, моделирование, формирование бородки, фиброграмма, погрешность

Для цитирования: Пашин Е. Л., Орлов А. В., Смирнов М. А. Влияние величины отступа от зажима бородки и численности волокон в ней на их расчетную длину по методу *HVI* // Технологии и качество. 2026. № 2(72). С. 18–24. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-2-72-18-24>.

Original article

Evgeniy L. Pashin¹
Aleksander V. Orlov²
Maxim A. Smirnov³

¹Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma, Russia

^{2,3}Kostroma State University, Kostroma, Russia

THE EFFECT OF THE INDENTATION FROM THE CLAMP OF THE BIT AND THE NUMBER OF FIBRES IN IT ON THEIR ESTIMATED LENGTH ACCORDING TO THE HVI METHOD

Abstract. The aim of the work is to evaluate the possible effect on the *ML* value of the fibre offset from the fibre clamping line by 3.81 mm used in the *HVI* method when testing in a fibrograph, as well as the variability in the thickness of the fibrous layer in the bit. By simulating the formation of a fibre clamping system in a block and constructing a fibrogram, confirmation was obtained of the negative effect of the variability in the number of fibres in the bit, which reduces the accuracy of determining their average length *ML* by the *HVI* method. As the number of fibres in the bit increases, the difference between *ML* and the true length of the fibres increases. It was also found that with an indentation of 3.81 mm from the edge of the clamp before the start of scanning, an error in determining *ML* may form in the fibrograph, especially when analysing short-

fibre cotton with an average length of about 20 mm. It is concluded that it is necessary to improve the method of determining the length of cotton fibres on a fibrograph by taking into account all the fibres that make up the bit and scanning it directly from the clamping line.

Keywords: *fibre, cotton, length, USTER HVI system, modelling, bit formation, fibrogram, measurement error*

For citation: Pashin E. L., Orlov A. V., Smirnov M. A. The effect of the indentation from the clamp of the bit and the number of fibres in it on their estimated length according to the HVI method. *Technologies & Quality*. 2026. No 2(72). P. 18–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-2-72-18-24>.

При использовании инструментальной системы USTER HVI для измерения характеристик длины волокон хлопка с применением фибрографа акцентировано внимание на некоторые особенности испытаний, связанные с точностью получаемых результатов [1–5]. Это касается, например, используемой при испытании в фибрографе величины отступа, равной 3,81 мм от линии зажима бородки перед ее сканированием. В работе [6, р. 158], объясняя такую величину отступа, указано, что «...прибор нечувствителен к присутствию очень коротких волокон» и поэтому такой отступ несущественно повлияет на конечный результат измерения.

Однако согласиться с указанным объяснением нельзя. Это вытекает из начальных положений о принципах формирования фиброграммы по результатам сканирования [7, 8]. Дело в том, что они предусматривают анализ слоя волокон, равного по толщине их условному диаметру, то есть в виде однослойной совокупности. Авторы теории построения фиброграммы установили, что при равенстве всех волокон в зажиме по длине ($L_m = \text{const}$) и при их случайном смещении по длине друг относительно друга и относительно линии зажима график фиброграммы будет представлять собой прямую линию. Тогда в осях координат (по оси Y – нормализованное значение степени ослабления свето-

вого потока при сканировании в фибрографе, а по оси X – расстояние от линии зажима) будет формироваться фигура в виде треугольника. Среднее значение длины волокон соответствует координате точки X_{ML} пересечения прямой с осью X . Это продемонстрировано в исследовании [8].

В то же время при наличии волокон, отличных от средней длины L_m , линия фиброграммы будет отличаться от прямой линии, а координата точки пересечения линии фиброграммы с осью X не будет соответствовать средней длине волокон. Поэтому при испытаниях с использованием системы USTER HVI применяются алгоритмы построения характеристических кривых (для определения средней ML и верхней средней длины $UHML$) применительно к такой криволинейной фиброграмме.

Отметим, что формирование кривизны фиброграммы происходит по причине изменчивости длины анализируемых волокон, попавших в зажим. Однако при испытании на фибрографе по причине наличия упомянутого отступа, величиной 3,81 мм по длине бородки от линии зажима, этого не происходит, что дает ошибку итогового значения ML . Эта ошибка будет возникать из-за игнорирования части зажатых волокон. Этот факт поясняется схемой зажатых волокон на рисунке 1.

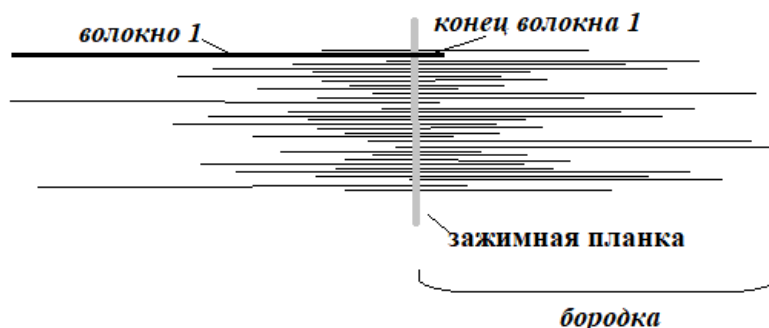


Рис. 1. Схема возможных вариантов формирования коротких концов волокон в бородке

Так, применительно к волокну 1, имеющему значительную длину, его выступающий короткий конец (длиной менее 3,81 мм), составляющий бородку, не будет учитываться при по-

строении фиброграммы. Из-за этого искривление фиброграммы будет зависеть не только от изменчивости длины волокон, но и от условий их сканирования. В итоге будет формироваться

ошибка при определении ML . Однако определение причины этой ошибки станет невозможным, так как она будет зависеть от двух случайных факторов: изменчивости по длине самих волокон и изменчивости не учитываемых при испытании длины выступающих концов волокон в интервале от 0 до 3,81 мм.

Дополнительного изучения также требует вопрос влияния на точность анализа при определении ML количества волокон, расположенных в зажимной колодке. Так, при подготовке бородки в фибросеплере в зажим попадает разное число волокон [9]. Из-за этого толщина слоя зажатых волокон в бородке является непостоянной и отличающейся от слоя волокон, расположенных в ряд вблизи друг от друга без просветов толщиной, равной одному условному диаметру волокон. Поэтому часть волокон, расположенных внутри слоя, и их длина не могут быть зафиксированы при сканировании путем контроля степени ослабления светового потока. В итоге формируется дополнительная случайная ошибка при определении ML [10].

В этой связи представляет практический интерес оценка расхождения значений расчетных значений ML при применяемом в методе HVI отступе 3,81 мм и при его отсутствии, а также при разном числе волокон (разной толщине слоя) в зажатой колодке. Результат такой оценки может использоваться при совершенствовании метода HVI и при разработке более совершенных методов анализа длины волокон.

Целью исследования является оценка возможного совместного влияния на величину ML используемого в методе HVI при испытании в фибрографе отступа от линии зажима волокон на величину 3,81 мм, а также непостоянства толщины волокнистого слоя в бородке.

Методы исследования включали интегрированное использование математического и компьютерного моделирования с применением языка программирования Python, а также статистических алгоритмов обработки данных. При построении модельных систем волокон в зажиме и кривой фиброграммы, а также при определении значений характеристик длины ML применили методы компьютерного имитационного моделирования и алгоритмы расчетов, изложенные ранее в работах [10–12]. Условия модельных испытаний соответствовали параметрам фибрографа USTER LVI Fibrograph 730 с интервалом оценки нормализованного затемнения 0,635 мм. Моделирование фиброграммы осуществляли по методу, представленному в литературе [12]. Синтез системы волокон в зажиме с толщиной слоя, равной условному диаметру волокон (однослой-

ная масса волокон в зажиме), моделировали с применением оригинального метода. Для оценки влияния разной численности волокон в зажиме проводили сравнение средней длины волокон ML на основе анализа фиброграммы для однослойной и многослойной (1–4 слоя) бородки зажатых волокон. Анализ проводили применительно к разной длине отступа A от края зажима до начала сканирования бородки (0 и 3,81 мм), исследуя разную исходную длину волокон: 20, 30 и 40 мм. При моделировании принимали, что волокна подчиняются нормальному закону распределения с левосторонней асимметрией, присущей хлопку. Моделирование фиброграмм осуществляли с 20-кратным прогоном, обеспечивающим точность анализа при определении ML до 5 %.

Для оценки степени изменения средней длины волокон ML на основе моделирования процесса испытания по методу HVI внесли исправления в ранее созданный алгоритм расчета и построения характеристических кривых применительно к фиброграмме [12]. Необходимость внесения изменений связана с возможностью моделирования фиброграммы применительно к однослойной массе волокон в зажимной колодке. В этом случае толщина слоя волокон должна соответствовать их условному диаметру, а сами волокна располагаются по отношению друг к другу без зазора. Такие изменения в упомянутый алгоритм и были внесены. Уточненный вариант моделирования однослойной массы значений ML_1 представлен в виде схемы алгоритма на рисунке 2. На ней область, обведенная линией, представляет совокупность операций, представляющих суть изменений.

Таким образом, при моделировании использовали два алгоритма. Первый представлен в работе [10]. Он обеспечивает возможность построения фиброграммы и расчет значения ML для совокупности волокон с задаваемым пользователем количеством. Второй, согласно представленной на рисунке 2 схеме алгоритма, предназначен для построения фиброграммы и расчета ML_1 для однослойной массы волокон. Наличие значений ML и ML_1 позволяет произвести расчет оценки их изменения в виде коэффициента $K = ML_1 / ML$.

С использованием указанных алгоритмов расчета и моделирования выполнено исследование влияния на величину K размера отступа A (0 или 3,81 мм), а также разной численности волокон в зажиме с учетом длины волокон в виде количества их слоев B (1, 2, 3, 4 шт.). Количество волокон с учетом их длины при разных значениях числа слоев представлено в таблице.

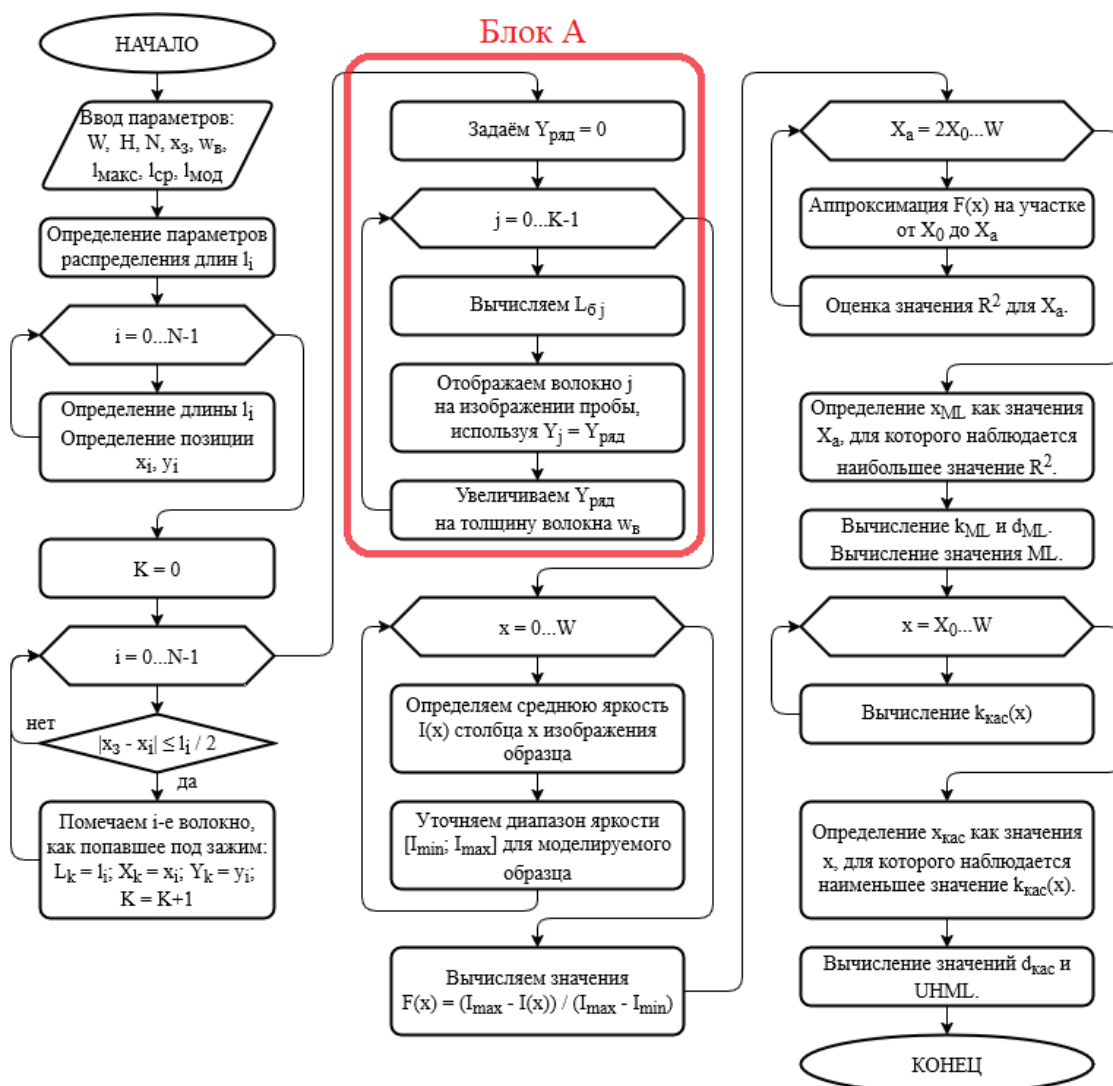


Рис. 2. Усовершенствованная схема алгоритма расчетов при определении средней длины ML при условии зажатия волокон в виде слоя, равного по толщине условному диаметру хлопкового волокна

Т а б л и ц а

Исходные условия для моделирования

Число слоев волокон в зажиме*, шт.	Число волокон хлопка (шт.) при их длине, мм		
	20	30	40
1	500	400	300
2	1000	800	600
3	1500	1200	900
4	2000	1600	1200

*Примечание: количество слоев определяли на основе опубликованных значений условного диаметра (поперечника) волокна хлопка, ширины зажимной колодки и общего числа зажатых волокон.

Используя данные таблицы, значения коэффициента K определяли на основе расчетного эксперимента. Полученные результаты представлены в виде диаграмм на рисунке 3. На них показаны также аппроксимирующие кривые, приближенно описывающие изменения величины K при разных условиях испытаний.

Из анализа данных следует, что ошибка при определении средней длины волокон ML по фиброграмме в основном формируется в зависимости от случайного фактора – численности

волокон в бородке. При наличии числа волокон, близких к однослойному расположению в зажиме перед сканированием при определении ML, точность испытания наибольшая. При увеличении числа волокон, вызывающих многослойное расположение волокон в бородке, точность снижается, достигая 8 %. Иными словами, получаемые по фиброграмме методом HVI значения длины подвержены изменчивости вследствие случайной численности волокон в зажиме после применения фибросэмплера. Такая из-

менчивость будет приводить к вариациям величины светового потока, проникающего сквозь бороздку, регистрируемого для построения фиб-

рограммы. Этот вывод согласуется с заключением, указанным ранее [10].

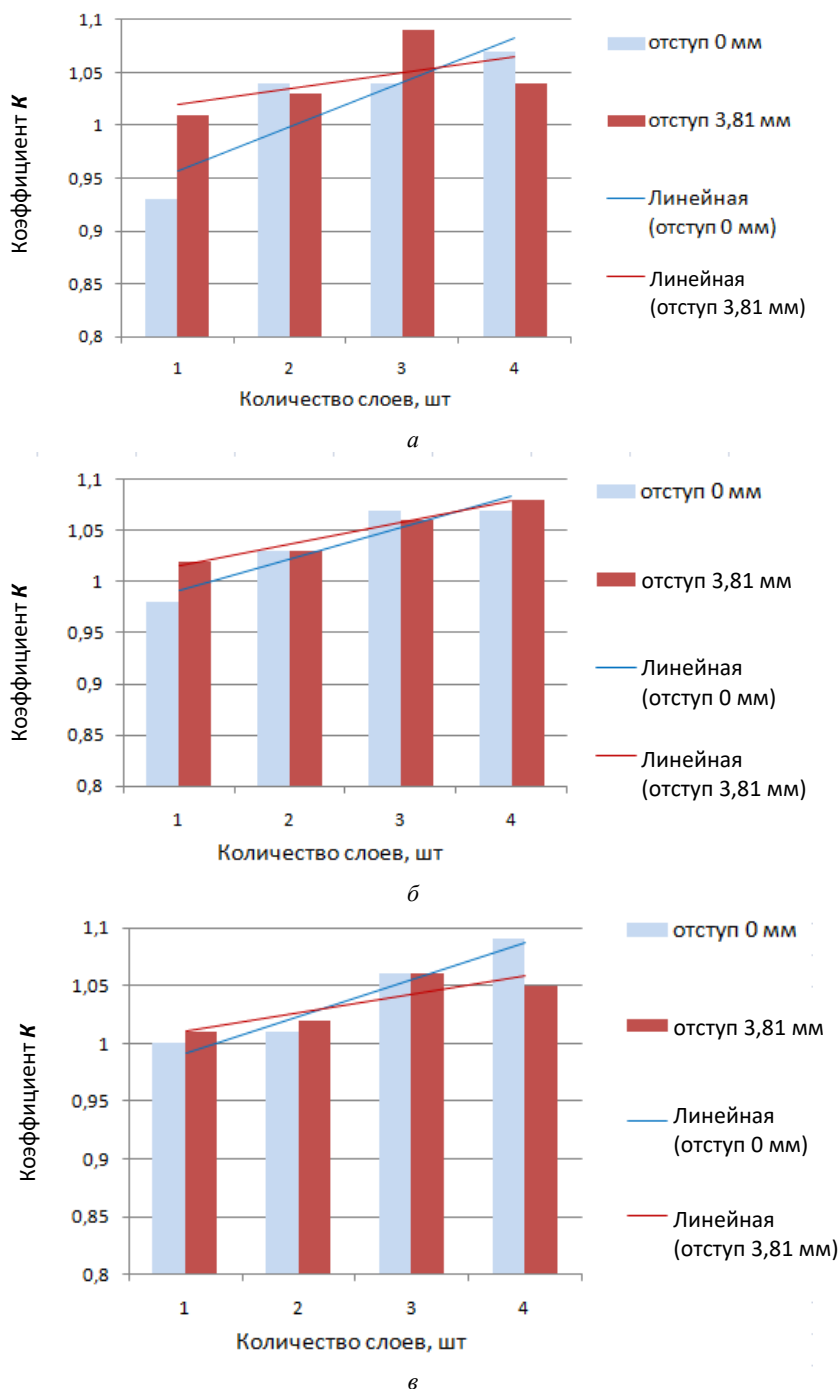


Рис. 3. Зависимость соотношения $ML_1/ML = K$ от количества слоев волокон в зажиме и величины отступа для разной длины волокон хлопка: а – длина 20 мм; б – длина 30 мм; в – длина 40 мм

Значение величины отступа на соотношение $ML_1/ML = K$ (диаграмма на рис. 4) в меньшей степени влияет на точность при определении длины волокон. Однако при испытании коротковолокнистого хлопка (длина примерно 20 мм) и при отступе, равном 3,81 мм, могут формироваться ошибочные данные ML , а именно будет наблюдаться завышение величины ML до 5 % от их исходной длины.

Таким образом, из результатов моделирования и расчетного эксперимента следует подтверждение получения ошибочных данных при определении средней длины волокон ML по результатам анализа фиброграммы по методу HVI. Основной причиной этого является невозможность обеспечения постоянного числа волокон в бороздке перед ее испытанием на фибрографе. Кроме этого, ошибки при определении ML мо-

гут возникать при испытании коротковолокнистого хлопка вследствие использования при испытании на фибрографе отступа величиной 3,81 мм. Вероятно, по этой же причине могут формироваться ошибочные данные и о доле непрядомых волокон в общей массе хлопка в виде индекса коротких волокон SFI, расчет величины которого указан в исследовании [13] с применением величины ML и иных характеристик.

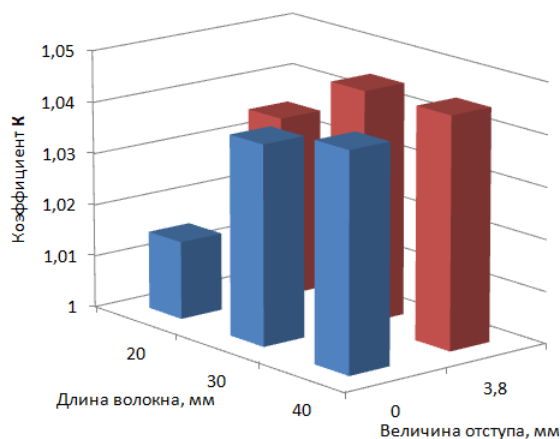


Рис. 4. Зависимость соотношения $ML_1/ML = K$ от величины отступа при разной длине волокон хлопка при условии среднего числа (2,5 шт.) волокнистых слоев в зажиме

В результате проведенного исследования следует считать ошибочным мнение зарубежных исследователей [6, с. 158], что «...прибор* нечувствителен к присутствию очень коротких волокон» в зоне от кромки зажима волокон до

линии начала сканирования бородки волокон хлопка. Поэтому такой отступ, по мнению этих исследователей, несущественно будет влиять на конечный результат измерения. Несогласие с этим объясняется наличием в этой зоне длиной 3,81 мм коротких волокнистых концов, которые могут являться продолжением длинных волокон. Их наличие должно влиять на форму фиброграммы, что согласуется с теорией о ее формировании [7].

Для подтверждения этого, а также оценки влияния на величину средней длины ML (по методу HVI) непостоянства толщины волокнистого слоя в бородке (из-за непостоянства в ней числа волокон) использовали метод имитационного моделирования. По итогам его реализации получили подтверждение о влиянии изменчивости численности волокон в бородке на снижение точности определения их средней длины ML. С отклонением количества волокон от их числа, составляющего однослойную бородку, точность результатов снижается. Также установлено, что при величине отступа 3,81 мм от края зажима до начала сканирования в фибрографе может формироваться погрешность при определении ML, особенно при анализе коротковолокнистого хлопка средней длиной примерно 20 мм. В этой связи необходимо совершенствование алгоритма определения длины волокон хлопка по методу HVI посредством учета всех волокон, составляющих бородку, в условиях их фиксации с применением фибросэмплера и начала сканирования от линии зажима.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. An Investigation on the Sampling Bias of the Beard Method as Used in HVI / Y. Cai, X. Cui, J. Rodgers, V. B. Martin, M. Watson // The Journal of The Textile Institute. 2010. No. 101(11). P. 958–966.
2. Obtaining Cotton Fiber Length Distributions from the Beard Test Method Part 2 – A New Approach through PLS Regression / R. Belmasrou, L. Li., X. L. Cui, Y. Cai, J. Rodgers // The Journal of Cotton Science. 2011. No. 15. P. 73–79.
3. Extracting fiber length distributions from dual-beard fibrographs with the Levenberg – Marquardt algorithm / J. Zhou, J. Wang, J. Wei, B. Xu // Textile Research Journal. 2019. No. 90. P. 37–48.
4. Obtaining Cotton Fiber Length Distributions from the Beard Test Method, Part 1 – Theoretical Distributions Related to the Beard Method / X. L. Cui, J. Rodgers, Y. Cai, L. Li, R. Belmasrou, S.-S. Pang // The Journal of Cotton Science. 2009. No. 13. P. 265–273.
5. Turner C., Sayeed M. A., Hequet E. F. Reconstruction of the cotton fiber length distribution from a High Volume Instrument® fibrogram // Textile Research Journal. 2022. No. 93. P. 1651–1669.
6. Hearle J. W. S., Morton W E. Physical Properties of Textile Fibres. Cambridge : Woodhead Publishing, 2008. 796 p.
7. Hertel K. L. A Method of Fibre-Length Analysis Using the Fibrograph // Textile Research Journal. 1940. No. 10. P. 510–525.
8. Chu Y. T., Riley C. R. New interpretation of the fibrogram // Textile Research Journal. 1997. No. 67. P. 897–901.

* Прибор – фиброграф, применяемый при испытании по методу HVI.

9. Рыклин Д. Б., Кветковский Д. И. Оценка показателей качества хлопкового волокна с использованием системы UsterLVI : метод. указания. Витебск : ВГТУ, 2019. 40 с.
10. Пашин Е. Л. Моделирование испытания по методу HVI для оценки длины волокон хлопка с различными параметрами бородки // *Universum: технические науки*. 2025. № 4. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19730> (дата обращения: 09.03.2026).
11. Пашин Е. Л., Орлов А. В. Компьютерное моделирование формирования «бородки» короткоштапельных волокон для оценки характеристик их длины в фибрографе USTER // *Universum: технические науки*. 2024. № 8. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18050> (дата обращения: 09.03.2026).
12. Пашин Е. Л., Орлов А. В., Смирнов М. А. Компьютерное моделирование фиброграммы для определения характеристик длины короткоштапельных волокон по методу HVI // *Universum: технические науки*. 2025. № 1. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19139> (дата обращения: 09.03.2026).
13. Жуманиязов К., Тожимирзаев С. Т., Муминов М. Р. Исследование и оценка свойств хлопкового волокна в технологических процессах // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. № 1. С. 162–170.

REFERENCES

1. Cui X., Rodgers J., Martin V. B., Watson M. An Investigation on the Sampling Bias of the Beard Method as Used in HVI. *The Journal of The Textile Institute*. 2010;101(11):958–966.
2. Belmasrou R., Li L., Cui X. L., Cai Y., Rodgers J. Obtaining Cotton Fiber Length Distributions from the Beard Test Method Part 2 – A New Approach through PLS Regression. *The Journal of Cotton Science*. 2011;15:73–79.
3. Zhou J., Wang J., Wei J., Xu B. Extracting fiber length distributions from dual-beard fibrographs with the Levenberg – Marquardt algorithm. *Textile Research Journal*. 2019;90:37–48.
4. Cui X. L., Rodgers J., Cai Y., Li L., Belmasrou R., Pang S.-S. Obtaining Cotton Fiber Length Distributions from the Beard Test Method, Part 1 – Theoretical Distributions Related to the Beard Method. *The Journal of Cotton Science*. 2009;13:265–273.
5. Turner C., Sayeed M. A., Hequet E. F. Reconstruction of the cotton fiber length distribution from a High Volume Instrument® fibrogram. *Textile Research Journal*. 2022;93:1651–1669.
6. Hearle J. W. S., Morton W. E. *Physical Properties of Textile Fibers*. Cambridge, Woodhead Publ., 2008. 796 p.
7. Hertel K. L. A Method of Fiber-Length Analysis Using the Fibrograph. *Textile Research Journal*. 1940;10:510–525.
8. Chu Y. T., Riley C. R. New interpretation of the fibrogram. *Textile Research Journal*. 1997;67:897–901.
9. Ryklin D. B., Kvetkovsky D. I. Evaluation of cotton fiber quality indicators using the UsterLVI system: guidelines. Vitebsk, Vitebsk St. Tech. Univ. Publ., 2019. 40 p. (In Russ.)
10. Pashin E. L. Modeling of testing using the HVI method to estimate the length of cotton fibers with different beard parameters. *Universum: technical sciences*. 2025;4. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19730> (accessed 09.03.2026). (In Russ.)
11. Pashin E. L., Orlov A. V. Computer modeling of the formation of the “beard” of short-staple fibers to evaluate the characteristics of their length in the USTER fibrograph. *Universum: technical sciences*. 2024;8. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/18050> (accessed 09.03.2026). (In Russ.)
12. Pashin E. L., Orlov A. V., Smirnov M. A. Computer modeling of fibrogram for determining the length characteristics of short-staple fibers using the HVI method. *Universum: technical sciences*. 2025;1. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19139> (accessed 09.03.2026). (In Russ.)
13. Zhumaniyazov K., Tozhimirzaev S. T., Muminov M. R. Research and evaluation of cotton fiber properties in technological processes. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2022;1:162–170. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 08.04.2026
Принята к публикации 27.04.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Е. Л. Пашин, доктор технических наук, профессор
А. В. Орлов, кандидат технических наук, доцент
М. А. Смирнов, кандидат технических наук, доцент