

УДК 677.11.021.16 /:022:658.562  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_143

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ДЛИННОГО ТРЕПАНОГО ЛЬНОВОЛОКНА И БАНАНОВОГО ВОЛОКНА**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF LONG SCUTCHED FLAX FIBER AND BANANA FIBER**

*A.C. ДЯГИЛЕВ, Д.И. БЫКОВСКИЙ, В. РЕЙМЕР, А. ЯНССЕН, Т. ГРИС, К.Э. РАЗУМЕЕВ*  
*A.S. DYAGILEV, D.I. BYKOUSKI, V. REIMER, A. JANSSEN, T. GRIES, K.E. RAZUMEEV*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,  
Текстильный институт Рейнско-Вестфальского технического университета Ахена,  
Федеративная Республика Германия,  
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), Российская Федерация)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus,  
Institut fuer Textiltechnik (ITA) of RWTH Aachen University,  
Federal Republic of Germany,  
Russian State University named after A.N. Kosygin  
(Technologies. Design. Art), Russian Federation)

E-mail: dyagilev@vstu.by; viktor.reimer@ita.rwth-aachen.de; alexander.janssen@ita.rwth-aachen.de;  
thomas.gries@ita.rwth-aachen.de; k.razumeev@rambler.ru

*В работе проведен сравнительный анализ физико-механических свойств бананового волокна, произведенного в Индийском штате Тамил-Наду, и белорусского длинного трепаного волокна. При проведении анализа использовались большие объемы данных о физико-механических свойствах длинного трепаного волокна, накапливаемых в информационной системе контроля качества РУПТП "Оршанский льнокомбинат".*

*In this paper, a comparative analysis out of the physical and mechanical properties of banana fiber produced in the Indian state of Tamil Nadu and properties of scutched flax fiber produced in Belarus was carried out. The analysis is based on the Big Data of the current quality control of long scutched flax fiber, accumulated in the information quality control system of "Orsha Linen Mill".*

**Ключевые слова:** льняное волокно, банановое волокно, физико-механические свойства волокон, сравнительный анализ.

**Keywords:** flax fiber, banana fiber, physical and mechanical properties of fibers, comparative analysis.

В последние годы постоянно повышается интерес к применению лубяных волокон для производства не только текстильных материалов бытового назначения, но и текстильных материалов технического назначения и композиционных материалов. Лубяные волокна получают из стеблей и листьев различных растений: лен, джут, конопля, рами, сизаль, юкка и др. Это объясняется повышающимися требованиями к экологичности как производства, так и утилизации промышленных изделий. В связи с этим актуальной является задача проведения сравнительного анализа физико-механических свойств различных видов лубяных волокон, поскольку результаты такого анализа могут быть использованы при выборе сырья для производства материалов различного назначения.

Лен является наиболее распространенным в Европе видом лубяных волокон, а Республика Беларусь является одним из крупнейших мировых производителей льняного волокна, занимая более 20% мирового рынка [1]. При этом более 90% волокна, производимого в республике, перерабатывается на РУПТП "Оршанский льнокомбинат" – крупнейшем льнообрабатывающем предприятии в Республике Беларусь и Восточной Европе. В информационной системе контроля качества льнокомбината [2...4] аккумулируются большие объемы данных о физико-механических свойствах перерабатываемого льняного волокна. В последние годы льняное волокно находит широкое применение для производства товаров не только бытового, но и технического назначения и используется при производстве композиционных материалов [5], [6].

В данной работе с использованием информационной системы контроля качества [2], внедренной в производственный процесс РУПТП "Оршанский льнокомбинат", проводился сравнительный анализ физико-механических свойств белорусского длинного трепаного льноволокна и образцов бананового волокна, произведенного в штате Тамил-Наду (Индия). Данное исследование иллюстрирует возможности по использованию данных, накапливаемых в процессе те-

кущего контроля крупного льноперерабатывающего предприятия.

Банановое волокно получают из ствола (стебля) банана, который подвергается механической обработке, в процессе которой удаляются древесные части стебля и большая часть влаги. Затем волокно подвергается сушке, после чего банановое волокно может использоваться для производства текстильных материалов с применением различных технологий [7...9].

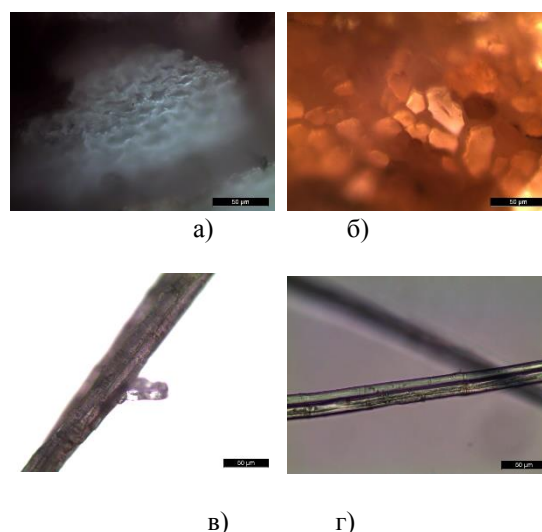


Рис. 1

На рис. 1 приведена микроскопия льняных и банановых волокон: а) поперечное сечение бананового волокна; б) поперечное сечение льняного волокна; в) продольный вид бананового волокна; г) продольный вид льняного волокна.

Испытания физико-механических свойств бананового волокна проводились в условиях лаборатории входного контроля в соответствии с методикой [10], утвержденной действующим стандартом для определения прядильной способности длинного трепаного льноволокна. Основными параметрами для оценки прядильной способности длинного трепаного льноволокна являются: разрывная нагрузка, гибкость, горстевая длина и группа цвета.

Горстевая длина длинного трепаного льноволокна в среднем составляет 60...80 см, в то время как длина добываемых банановых волокон ограничена лишь высотой ствола, который может достигать двух-трех

метров. Существующее технологическое оборудование для переработки льняного волокна сконструировано с учетом усредненных значений длины длинного трепаного льноволокна. Если средняя длина партии волокна значительно превышает технологические ограничения, то волокно укорачивают.

Используя эталонные образцы длинного трепаного льноволокна, определяют исследуемого образца к определенной группе цвета (1...4). Цвет волокна служит косвенным показателем содержания лигнина. Следовательно, сравнительный анализ цвета льняного и бананового волокна не имеет практического смысла.

Таким образом, наибольший интерес для проведения сравнительного анализа физико-механических свойств длинного трепаного волокна и бананового волокна представляют разрывная нагрузка и гибкость.

При определении гибкости согласно действующему стандарту [8] формируют 30 навесок волокон длиной в 27 см и весом 42 г. Определение гибкости проводится с использованием гибкомера ГВ-3. Разрывная нагрузка определяется с использованием образцов, подготовленных для измерения гибкости, на разрывной машине ДКВ-60 с расстоянием между зажимами 100 мм.

Для статистического анализа и обработки данных использовался язык R [11].

На рис. 2 приведены гистограммы распределения значений физико-механических свойств бананового волокна.

Среднее значение разрывной нагрузки бананового волокна составляет 162,2 Н. Коэффициент вариации по разрывной нагрузке 33,86%. Среднее значение гибкости составляет 29,38 мм. Коэффициент вариации по гибкости имеет значение 31,3%. Среднее значение горстевой длины бананового волокна равно 115 мм. Большинство образцов бананового волокна соответствуют группе цвета 2 льняного волокна. Произведение коэффициентов вариации по гибкости и разрывной нагрузке  $CO = 1111,15$ .

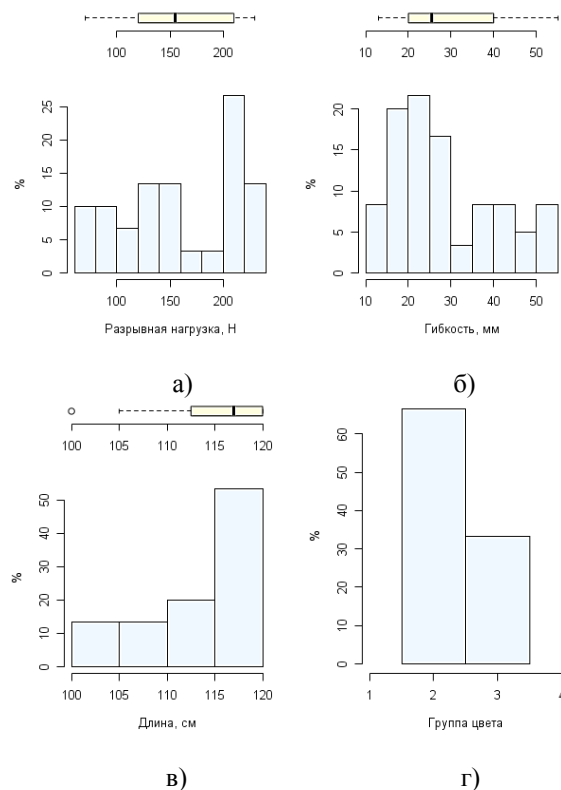


Рис. 2

Для проведения сравнительного анализа партий льняного волокна в информационной системе контроля качества используются частные функции желательности [12]:

$$S(x) = 1 - CDF(x) \approx \sum_{i: x_i \geq x} p_i = \frac{1}{n} k_{x_i \geq x},$$

где  $x$  – значение свойства одного исследованного образца;  $CDF(x)$  — кумулятивная функция распределения;  $p_i$  – вероятность, связанная со значением, удовлетворяющим условию  $x_i \geq x$ ;  $n$  – количество исследованных образцов;  $k$  – количество образцов, удовлетворяющих условию  $x_i \geq x$ .

С целью обеспечения высокого качества выпускаемой продукции РУПТП "Оршанский льнокомбинат" не закупает длинное трепаное льноволокно 9 и более низких номеров. В связи с этим сравнительный анализ физико-механических свойств бананового волокна производился с использованием данных о физико-механических свойствах длинного трепаного волокна 10 номера.

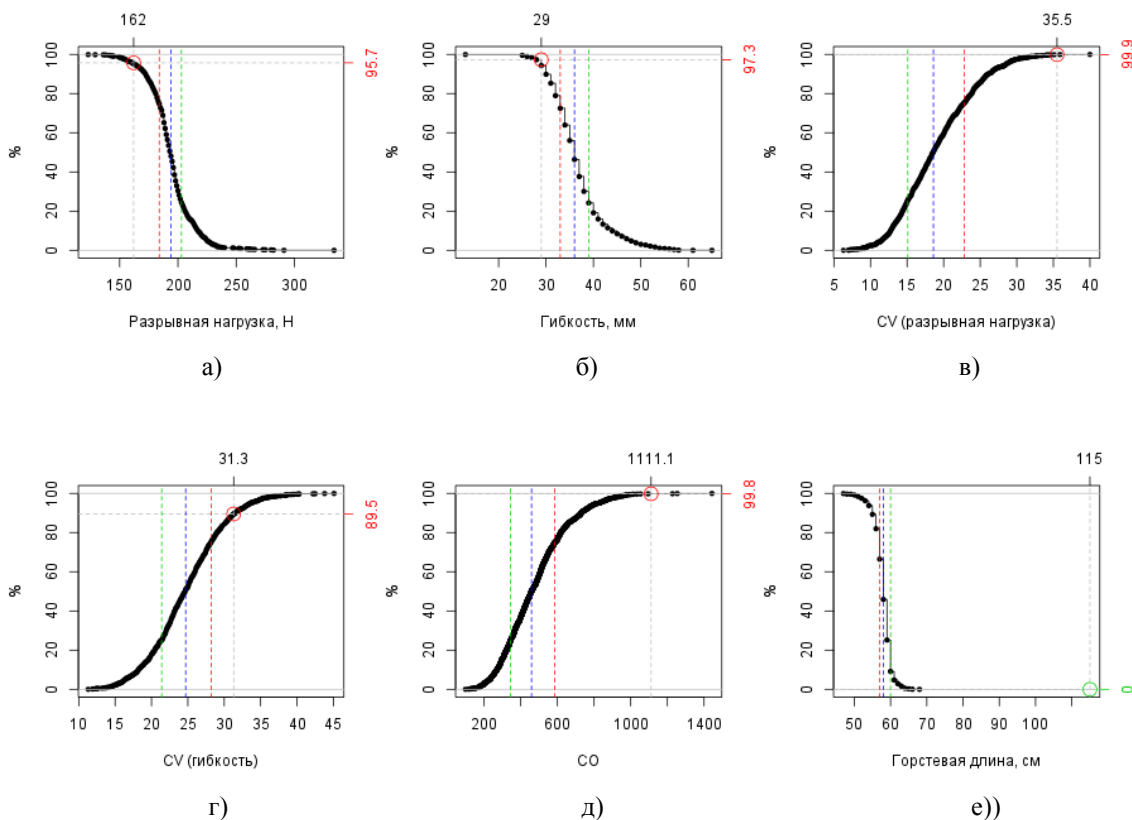


Рис. 3

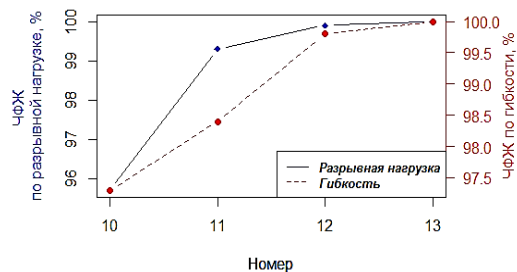
На рис. 3 приведены графики частных функций желательности для разрывной нагрузки и гибкости длинного трепаного волокна 10 номера. На рис. 3-а приведен график частной функции желательности для разрывной нагрузки. Как видно из графика, 4,3% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение разрывной нагрузки хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-б приведена частная функция желательности для гибкости. Как видно из графика, 2,7% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение гибкости хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-в приведена частная функция желательности для коэффициента вариации по разрывной нагрузке. Как видно из графика, 0,1% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение этого параметра хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-г приведена частная функция желательности для коэффициента вариации

по гибкости. Как видно из графика, 10,5% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение этого параметра хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-д приведена частная функция желательности для произведения коэффициентов вариации по гибкости и разрывной нагрузке (CO). Как видно из графика, 0,2% образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера имеют значение этого параметра хуже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна. На рис. 3-е приведена частная функция желательности для горстевой длины. Как видно из графика, горстевая длина всех образцов длинного трепаного льноволокна 10 номера значительно ниже, чем среднее значение данного свойства для бананового волокна.

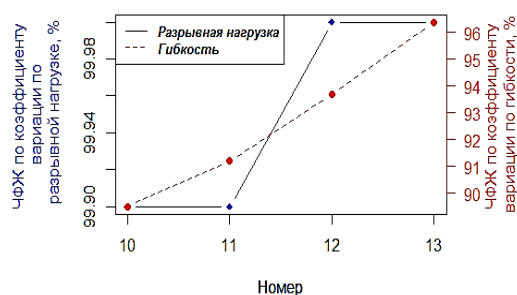
На рис. 4 приведены графики зависимостей значений частных функций желательности (ЧФЖ) свойств длинного трепаного волокна, построенных с использованием средних значений бананового волокна, от номера длинного трепаного волокна.

## ВЫВОДЫ

Как видно на рис. 4, с увеличением номера длинного трепаного льноволокна увеличивается процент образцов длинного трепаного волокна, обладающих лучшими значениями физико-механических свойств, чем средние значения свойств бананового волокна.



а)



б)

Рис. 4

Анализируя рис. 4-а, можно сделать следующие выводы:

- 100% образцов длинного трепаного льноволокна 13 номера имеют значения разрывной нагрузки и гибкости выше средних значений бананового волокна;
- 100% образцов 12 и 13 номеров имеют значения коэффициента вариации разрывной нагрузки выше средних значений бананового волокна;
- по коэффициенту вариации по гибкости банановому волокну уступают менее 4% образцов длинного трепаного волокна 13 номера.

Таким образом, по отдельным значениям разрывной нагрузки, гибкости, коэффициентам вариации по разрывной нагрузке и гибкости банановое волокно может соответствовать худшим образцам длинного трепаного волокна 10 и 11 номеров.

С использованием информационной системы контроля качества РУПТП "Оршанский льнокомбинат" проведен сравнительный анализ физико-механических свойств бананового волокна, произведенного в Индийском штате Тамил-Наду, и белорусского длинного трепаного волокна. Проведенный анализ показал, что банановое волокно обладает значениями разрывной нагрузки и гибкости, а также коэффициентами вариации по этим свойствам, сравнимыми с худшими образцами льняного длинного трепаного волокна 10 и 11 номеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Belarus is in the final phase of entering the WTO [Электронный ресурс]; 2019. – Режим доступа: <http://www.by.undp.org/content/belarus/en/home/presscenter/speeches/2018/1.html>
2. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Построение информационной системы для контроля качества длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С. 51...54.
3. Дягилев А.С., Петюль И.А., Бизюк А.Н., Коган А.Г., Разумеев К.Э. Оценка неопределенности при измерении разрывной нагрузки и гибкости длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 6. С. 69...75.
4. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Экспресс-оценка прядильной способности длинного трепаного льноволокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С. 48...51.
5. Реймер В., Дягилев А.С., Либенштунд Л., Кузнецов А.А., Грис Т. Оценка прочности композиционных материалов, армированных плетеной преформой // Химические волокна. – 2018, № 6. С. 61...65.
6. Ramesh M., Sudharsan P. Experimental Investigation of Mechanical and Morphological Properties of Flax-Glass Fiber Reinforced Hybrid Composite using Finite Element Analysis // Silicon. – №10, 2018. P.747...757. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9526-5>
7. Zaida Ortega. Banana Fiber Processing for the Production of Technical Textiles to Reinforce Polymeric Matrices // Sustainable Design and Manufacturing. – 2017. P. 452...459.
8. Deepa B. Extraction and Characterization of Cellulose Nanofibers from Banana Plant // Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application. – 2014. P. 65...80.
9. Indira K.N., Jyotishkumar P. & Thomas S. Viscoelastic Behaviour of Untreated and Chemically

Treated Banana Fiber/PF composites // *Fibers Polym.* – №15, 2014. P.91...100. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-0091-5>

10. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия : СТБ 1195-2008. – Введ. 30.04.2008. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь : Изд-во стандартов, 2008.

11. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

12. Дягилев А.С., Головенко Т.Н., Чурсина Л.А., Коган А.Г., Шовкомуд А.В. Сравнительный анализ свойств волокон льна масличного и коротких волокон льна-долгунца // *Изв. вузов. Технология легкой промышленности.* – 2017. Т. 36, № 2. С. 54...58.

#### REFERENCES

1. Belarus is in the final phase of entering the WTO [Elektronnyy resurs]; 2019. – Rezhim dostupa : <http://www.by.undp.org/content/belarus/en/home/presscenter/speeches/2018/1.html>

2. Dyagilev A.S., Bizyuk A.N., Kogan A.G. Postroenie informatsionnoy sistemy dlya kontrolya kachestva dlinnogo trepanogo l'novolokna // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2016, № 1. S. 51...54.

3. Dyagilev A.S., Petyul' I.A., Bizyuk A.N., Kogan A.G., Razumeev K.E. Otsenka neopredelennosti pri izmerenii razryvnoy nagruzki i gibkosti dlinnogo trepanogo l'novolokna // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2016, № 6. S.69...75.

4. Dyagilev A.S., Bizyuk A.N., Kogan A.G. Ekspress-otsenka pryadil'noy sposobnosti dlinnogo trepanogo l'novolokna // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2018, № 6. S.48...51.

5. Reymer V., Dyagilev A.S., Libenshtund L., Kuznetsov A.A., Gris T. Otsenka prochnosti kompozitsionnykh materialov, armirovannykh pletenoy preformoy // *Khimicheskie volokna.* – 2018, № 6. S.61...65.

6. Ramesh M., Sudharsan P. Experimental Investigation of Mechanical and Morphological Properties of Flax-Glass Fiber Reinforced Hybrid Composite using Finite Element Analysis // *Silicon.* – №10, 2018. P.747...757. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9526-5>

7. Zaida Ortega. Banana Fiber Processing for the Production of Technical Textiles to Reinforce Polymeric Matrices // *Sustainable Design and Manufacturing.* – 2017. P. 452...459.

8. Deepa B. Extraction and Characterization of Cellulose Nanofibers from Banana Plant // *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application.* – 2014. P. 65...80.

9. Indira K.N., Jyotishkumar P. & Thomas S. Viscoelastic Behaviour of Untreated and Chemically Treated Banana Fiber/PF composites // *Fibers Polym.* – №15, 2014. P.91...100. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-0091-5>

10. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия : СТБ 1195-2008. – Введ. 30.04.2008. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь: Изд-во стандартов, 2008.

11. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. – Vienna, Austria 2018. URL <https://www.R-project.org/>.

12. Dyagilev A.S., Golovenko T.N., Chursina L.A., Kogan A.G., Shovkomud A.V. Sravnitel'nyy analiz svoystv volokon l'na maslichnogo i korotkikh volokon l'na-dolguntsa // *Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti.* – 2017. Т. 36, № 2. С. 54...58.

Рекомендована кафедрой математики и информационных технологий ВГТУ. Поступила 17.11.21.