

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТРЕПАНОГО ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА, ВЫРАЩЕННОГО В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ БЕЛАРУСИ

FEATURES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SCUTCHED FLAX FIBER GROWN IN VARIOUS REGIONS OF BELARUS

УДК 677.112

Д.Л. Лисовский*, Н.Н. Ясинская

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-2-124-131>

D. Lisouski*, N. Yasinskaya

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЛЕН-ДОЛГУНЕЦ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ТРЕПАННОЕ ВОЛОКНО, НОМЕР ВОЛОКНА, РЕГИОН ВЫРАЩИВАНИЯ, УДЕЛЬНАЯ РАЗРЫВНАЯ НАГРУЗКА

Проведены экспериментальные исследования химического состава трепанного льняного волокна сортов «Василек» и «Грант», выращенного и прошедшего первичную обработку в различных областях Республики Беларусь, с целью установить различия химического состава в зависимости от сорта и региона выращивания. Изучена связь химического состава волокна с его номером. Установлено, что содержание лигнина уменьшается, а целлюлозы – увеличивается с увеличением номера волокна. Показано, что содержание основных биополимеров волокна одного сорта отличается в широком диапазоне в зависимости от региона выращивания. Установлено, что удельная разрывная нагрузка льняных комплексов коррелирует с содержанием целлюлозы и лигнина.

ABSTRACT

FLAX, CHEMICAL COMPOSITION, SCUTCHED FLAX FIBER, NUMBER OF FIBER, GROWING REGION, SPECIFIC BREAKING LOAD

Experimental investigations of the chemical composition of scutched flax fiber varieties "Vasilek" and "Grant", grown in various regions of the Republic of Belarus, were carried out in order to establish the differences in chemical composition depending on the variety and growing region. The relationship between the chemical composition of the fiber and its number has been studied. It was found that the content of lignin decreases and content of cellulose increases when the fiber number increase. It was shown that the content of the main biopolymers of fiber of one variety differs in a wide range depending on the growing region. It was found that the specific breaking load of flax complexes correlates with the content of cellulose and lignin.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Беларусь занимает третье место в мире по производству льняного волокна для текстильной промышленности [1, 2]. При этом анализ состояния дел, в котором находится льноводство, показывает, что главной причиной малоэффективной работы льняной отрасли является низкое качество производимого сырья и получаемой из него продукции. Эта проблема многогранна, однако центральное место в ее ре-

ализации принадлежит, безусловно, технологиям и реализующим их техническим средствам [3].

В настоящее время льняное волокно при сортировке на льнозаготовительных заводах классифицируют по горстевой длине волокна (длинное и короткое) и номеру, который регламентируется его засоренностью [4, 5]. Таким образом, выбор технологических режимов подготовки льняной ровницы основывается не на количественных характеристиках полимерного

* E-mail: lisouskid@gmail.com (D. Lisouski)

состава волокна, а на качественных критериях степени его огрубления. При этом известно, что физико-механические свойства льняной ровницы, а в итоге, следуя по цепочке производственного цикла, – свойства пряжи, ткани и готового изделия, непосредственно зависят от химического состава и степени извлечения полимерных примесей (лигнина, гемицеллюлоз, пектиновых веществ) из волокна [6], содержание которых в свою очередь зависит от климатических факторов, сорта и технологии возделывания прядильной культуры, а также от технологии химической отделки текстильного материала [7].

Цель настоящей работы заключалась в установлении особенностей полимерного строения трепаного льняного волокна, выращенного в различных географических регионах Республики Беларусь, и взаимосвязи физико-механических свойств и биохимического состава волокна.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были образцы длинного трепаного льняного волокна различных номеров, выращенного и прошедшего первичную обработку в различных областях Беларуси – Гомельская (КУП «Кормален»), Брестская (ОАО «Ляховичский льнозавод») и Витебская (ОАО «Дубровенский льнозавод»).

Определение влажности проводили методом высушивания до постоянной массы при температуре 105 °С, зольные вещества определяли путем озоления навески волокна при температуре 200 °С, с дальнейшим прокаливанием остатка при температуре 550 °С до постоянной массы [8].

Вещества, экстрагируемые спиртобензольной смесью и водой, определяли по методике, представленной в работе [8]. Содержание лигнина определяли серноокислым методом [8] с предварительным извлечением растворимого лигнина обработкой раствором карбоната натрия.

Содержание полисахаридов льна определяли путем их последовательной экстракции [9] с последующим спектрофотометрическим анализом экстрактов по окрашенному комплексу полимеров с *o*-толуидиновым реагентом при длинах волн 365, 385 и 630 нм [10].

Разрывную нагрузку льняных комплексов определяли на разрывной машине РМ-3-1 как среднее арифметическое результатов испытани-

ний 15 проб. Для этого приготавливали 15 отрезков длиной 20 см, каждый закрепляли между зажимами и подвергали деформированию. Рассчитывали удельную разрывную нагрузку ($P_{уд}$, сН/текс) как частное разрывной нагрузки и отношения массы пучка волокна к его длине.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Техническое льняное волокно, получаемое в процессе трепания, состоит из элементарных веретенообразных волоконцев, соединенных между собой посредством срединных пластинок. Элементарные волокна образованы фибриллами целлюлозы, содержание которой в трепаном стланцевом волокне составляет 65,2–69,1 % [6]. Срединные пластинки состоят преимущественно из пектиновых соединений, которые наряду с β -глюканами содержатся также и в инкрустах – поверхностных отложениях на волокне остатков камбия и паренхимных тканей. Содержание пектиновых соединений в трепаном стланцевом волокне составляет 1,88–5,0 %. Основной компонент межклеточных образований – гемицеллюлазы, содержание которых в техническом волокне варьируется в диапазоне 11,79–20,0 %. Наряду с углеводными соединениями льняное волокно содержит примеси лигнина (2,14–8,1 %), основное месторасположение которого – стыковые спайки элементарных волокон и одревесневшие участки, дислоцированные в межклетных образованиях [11].

Результаты анализа химического состава образцов льняного волокна приведены в таблице 1. Влажность всех образцов варьируется в пределах 7,1–8,3 %, что ниже нормированной влажности для льняного волокна в 12 %. Стандартное отклонение массовой доли зольных веществ в рамках одной зоны сбора и первичной обработки волокна для образцов 1–3 составляет 15 %, для образцов 4–6 – 14 %, для образцов 7–10 – 24 %, экстрагируемых спиртобензолом веществ – для образцов 1–3 составляет 17 %, для образцов 4–6 – 34 %, для образцов 7–10 – 24 %, а экстрагируемых водой веществ – для образцов 1–3 составляет 4 %, для образцов 4–6 – 22 %, для образцов 7–10 – 27 %.

При этом не прослеживается определенной взаимосвязи содержания обозначенных компонентов с номером волокна. Несмотря на то, что содержание золы и экстрагируемых веществ

Таблица 1 – Химический состав трепаного льняного волокна

№ образца	Номер волокна	Сорт	Область выращивания	Влажность, %	Содержание на асв, %						
					зола	вещества, экстрагируемые		лигнин Класона	гемицеллюлоза	пектиновые вещества	целлюлоза
						спирто- бензолом	водой				
1	9	Василек	Гомельская область	7,7	1,7	0,6	4,0	4,7	20,2	2,3	62,6
2	10	Василек	Гомельская область	8,0	1,5	0,4	4,3	4,5	18,0	2,5	66,1
3	11	Василек	Гомельская область	7,6	1,2	0,5	4,3	4,4	17,6	2,1	66,6
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ				7,7	1,5	0,5	4,2	4,5	18,8	2,3	65,1
4	9	Грант	Витебская область	8,3	1,5	0,5	3,3	5,0	19,3	1,9	64,0
5	10	Грант	Витебская область	7,3	1,1	0,5	3,4	4,8	19,0	2,0	66,3
6	11	Грант	Витебская область	7,8	1,4	0,8	4,8	4,2	17,0	1,6	68,2
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ				7,8	1,4	0,6	3,8	4,7	18,4	1,9	66,1
7	9	Грант	Брестская область	7,6	2,1	0,6	6,1	4,3	18,9	1,5	62,4
8	10	Грант	Брестская область	7,8	1,5	0,8	4,0	4,1	19,0	1,3	64,7
9	11	Грант	Брестская область	8,3	1,9	1,0	3,3	3,9	18,4	2,0	66,8
10	12	Грант	Брестская область	7,1	1,2	1,0	4,1	3,8	17,5	1,6	68,5
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ				7,7	1,7	0,8	4,4	4,0	18,5	1,6	65,6

варьируется в широких пределах, основное влияние на физико-механические показатели волокна оказывает содержание биополимеров [12]. Структурная организация технического льняного волокна предполагает, что в процессах дальнейшей переработки в первую очередь максимальному удалению должны подвергаться инкрусты и одревеснения, неполному расщеплению – биополимеры срединных пластинок и межклетных образований, а стыковые спайки должны быть сохранены, чтобы предотвратить разделение технического волокна на элементарные волокна [13].

При анализе результатов определения полимерного состава волокна было установлено, что для каждой из групп образцов массовая доля кислотонерастворимого лигнина уменьшается с увеличением номера волокна. Это можно объяснить уменьшением содержания костры и сорных примесей при переходе к волокну с более высоким номером, ведь несмотря на то, что перед исследованием образцы льняного волокна вручную очищались от остатков костры, достигнуть

полного ее удаления невозможно, к тому же в низких номерах большее содержание одревесневшей части и склеенных волокон. Содержание гемицеллюлозы также уменьшается с увеличением номера волокна, причем эта закономерность прослеживается во всех трех группах образцов.

Содержание лигнина в льняном волокне сорта «Грант» Витебской области выше на 17,5 отн. %, чем в волокне Брестской области, а содержание лигнина в волокне сорта «Василек» Гомельской области находится на уровне его содержания в волокне сорта «Грант» Витебской области. Различие в содержании гемицеллюлозы льноволокна сорта «Грант» обеих областей составило меньше 0,5 отн. %, что в условиях эксперимента ниже стандартного отклонения параллельного определения содержания биополимеров (в среднем не более 5 %). Аналогично для льноволокна сорта «Василек» разница в содержании гемицеллюлозы составляет не более 1,5 отн. % в сравнении с сортом «Грант», что ниже относительной погрешности эксперимента.

Анализируя содержание пектиновых веществ, следует обратить внимание, что льноволокно сорта «Василек» содержит существенно большее их количество по сравнению с сортом «Грант». Различие в содержании пектиновых веществ в льноволокне сорта «Грант» обеих областей также наблюдается – так, волокно Витебской области содержит в среднем на 15 отн. % больше пектиновых веществ, чем волокно Брестской области. При этом взаимосвязи между номером волокна и содержанием в нем пектиновых веществ установлено не было.

Все исследованные образцы обладают содержанием целлюлозы в диапазоне 62,4–68,5 %,

что хорошо согласуется с известными представлениями по содержанию целлюлозы в стланцевом трепаном волокне [6]. Для обоих сортов прослеживается взаимосвязь номера волокна и содержания целлюлозы – с увеличением номера увеличивается массовая доля данного полимера, причины этого аналогичны причинам взаимосвязи номера волокна и содержания лигнина.

Для выявления роли полимерных компонентов на технологические параметры трепаного льняного волокна был проведен анализ зависимости одного из важнейших физико-механических показателей, разрывной нагрузки, от химического состава волокна (рисунок 1).

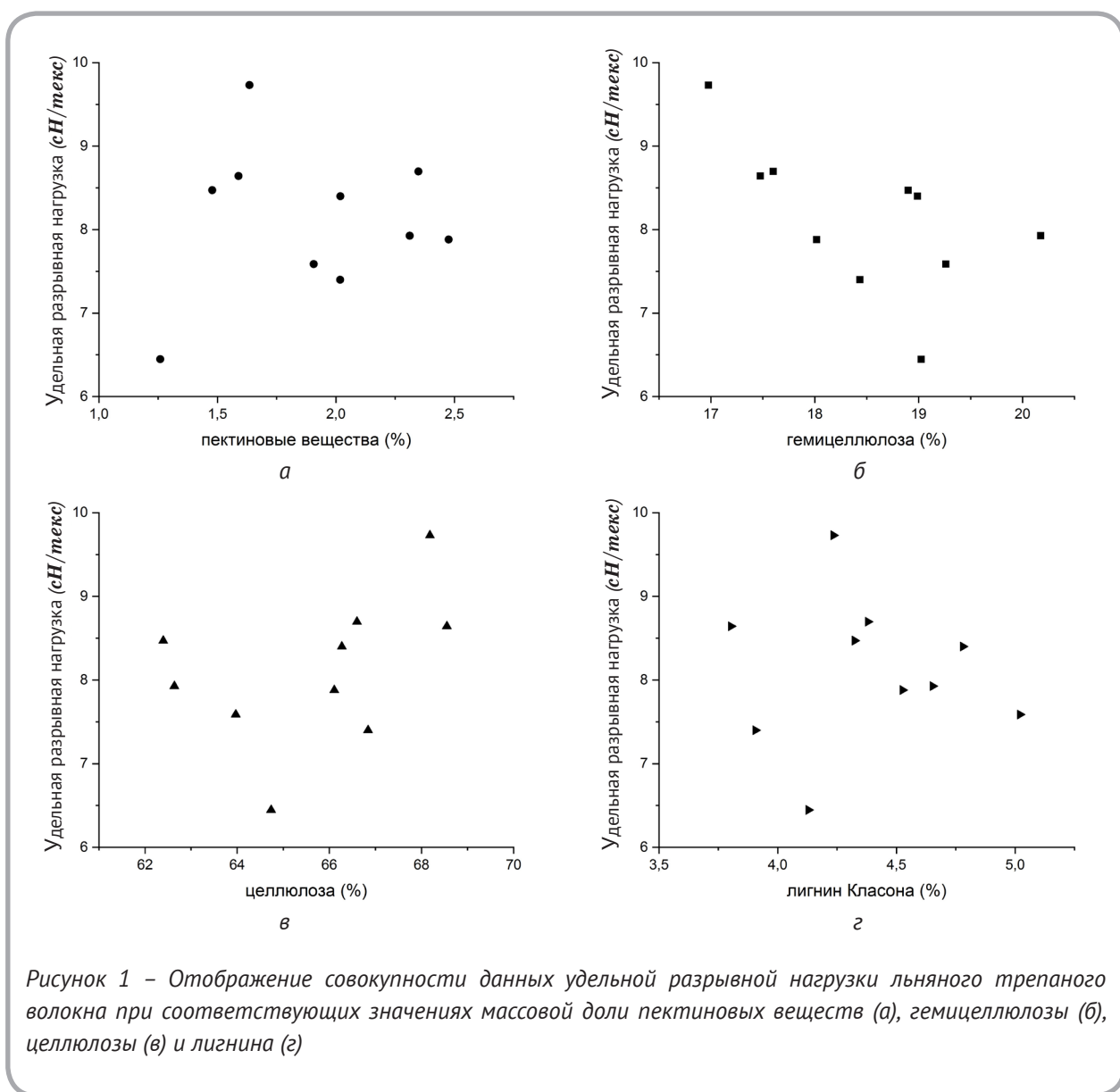


Рисунок 1 – Отображение совокупности данных удельной разрывной нагрузки льняного трепаного волокна при соответствующих значениях массовой доли пектиновых веществ (а), гемицеллюлозы (б), целлюлозы (в) и лигнина (г)

Из приведенных на рисунке 1 данных для испытанных образцов различных номеров обоих сортов льняного волокна следует, что описать прочностные свойства льняных комплексов в трепаном волокне по взаимосвязи с содержанием индивидуальных полимерных компонентов не представляется возможным – характер корреляционных зависимостей в исследованном диапазоне значений трудно поддается установлению. В связи с этим были проанализированы многофакторные нелинейные регрессионные модели зависимости удельной разрывной нагрузки от массовой доли биополимеров в волокне. Высокую степень корреляции этого показателя от содержания биополимеров в исследованном диапазоне значений дает уравнение следующего вида:

$$P_{уд.} = 733,420 - 24,2871Ц + 0,188516Ц^2 + 23,9734Л - 2,54212Л^2; R^2 = 0,8917, \quad (1)$$

где $Ц$ – содержание целлюлозы, %; $Л$ – содержание лигнина, %.

Из установленной зависимости (1) можно сделать вывод, что снижение удельной разрывной нагрузки льняных комплексов, показывающее способность к дроблению пучков в прядении, достигается с повышением массовой доли целлюлозы, что в свою очередь определяется деструкцией лигнина.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований льноволокна сортов «Василек» и «Грант» было уста-

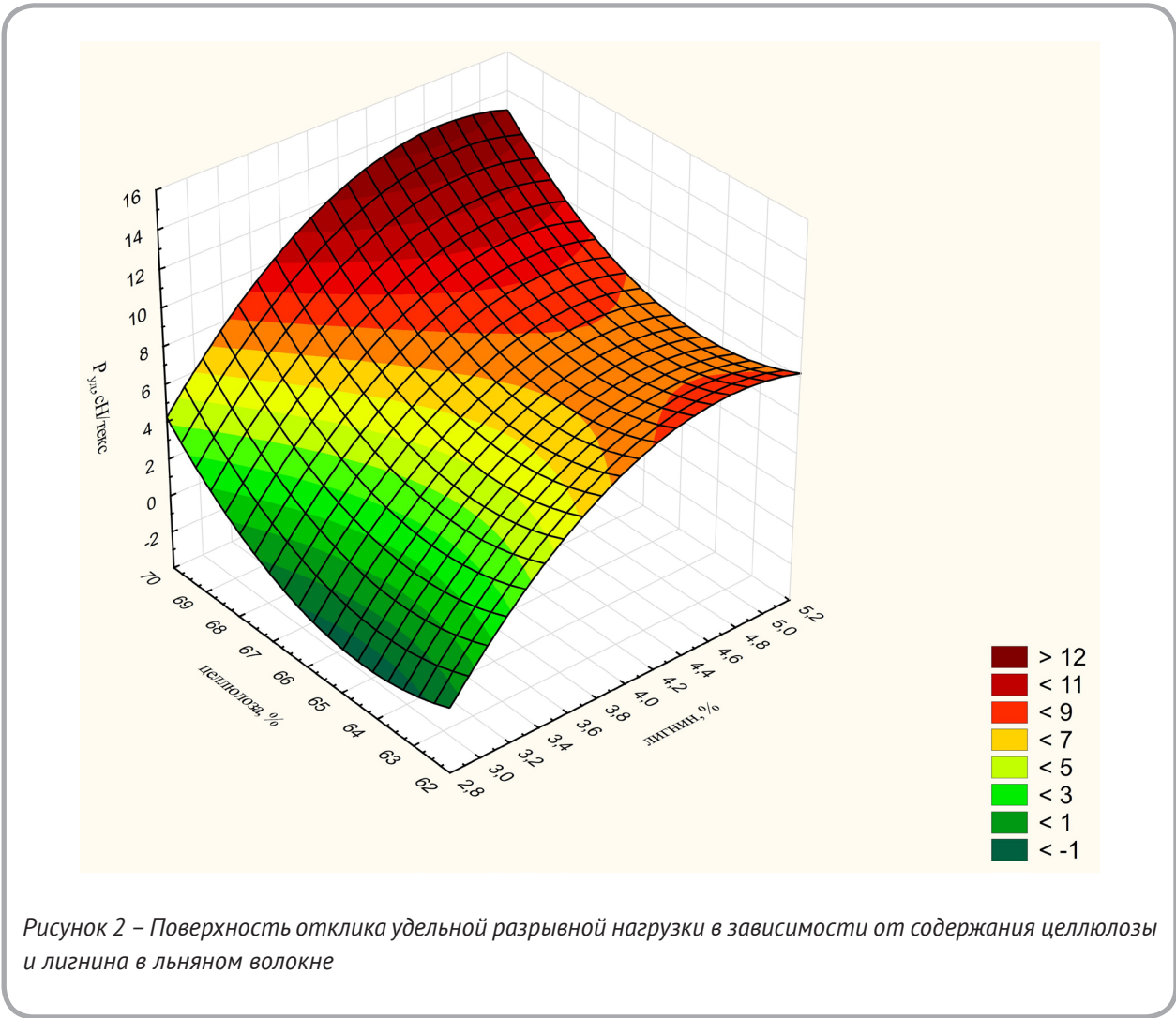


Рисунок 2 – Поверхность отклика удельной разрывной нагрузки в зависимости от содержания целлюлозы и лигнина в льняном волокне

новлено, что волокно сорта «Василек» содержит большее количество пектиновых веществ, чем волокно сорта «Грант».

На примере волокна сорта «Грант» показано, что выращивание и первичная обработка одного сорта льна-долгунца в разных областях Республики Беларусь оказывает влияние на синтез биополимеров волокна и на разрушение растительных тканей стебля в условиях лугового расстила.

Установлено, что удельная разрывная нагрузка коррелирует с содержанием целлюлозы и лигнина, а способность к дроблению пучков в прядении определяется деструкцией лигнина.

Результаты исследования химического состава трепаного льняного волокна, выращенного в различных регионах Беларуси, позволят обоснованно выбирать методы и технологические режимы модификации структуры и свойств льняных текстильных материалов при их подготовке в отделочном производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Opperskalski, S., Siew, S. Y., Tan, E., Trusco, E. (2019), Preferred Fiber & Materials Market Report 2019 [online] Textile Exchange, available at: https://store.textileexchange.org/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2019/11/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2019.pdf (accessed 10.06.2021).
2. Production Quantity of flax fiber and tow (2018) [online] Food and agricultural organization of the United Nations, available at: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC> (accessed 10.06.2021).
3. Пестис, М. В. (2011), *Состояние и перспективы производства и переработки льна в условиях Гродненской области: монография*, Гродно: ГГАУ, 168 с.
4. СТБ 1850-2009. *Волокно льняное короткое. Технические условия*, Введ. 30.04.2008, Минск,

REFERENCES

1. Opperskalski, S., Siew, S. Y., Tan, E., Trusco, E. (2019), Preferred Fiber & Materials Market Report 2019 [online] Textile Exchange, available at: https://store.textileexchange.org/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2019/11/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2019.pdf (accessed 10.06.2021).
2. Production Quantity of flax fiber and tow (2018) [online] Food and agricultural organization of the United Nations, available at: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC> (accessed 10.06.2021).
3. Pestis, M. V. (2011), *Sostojanje i perspektivy proizvodstva i pererabotki l'na v uslovijah Grodnenskoj oblasti: monografija* [State and prospects for the production and processing of flax in the conditions of the Grodno region: monography], Grodno: GSAU, 168 p.

- Госстандарт, 31 с.
5. СТБ 1195-2008. *Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия*, Введ. 29.12.2008, Минск, Госстандарт, 17 с.
 6. Кокшаров, С. А., Алеева, С. В., Скобелева, О. А., Кудряшов, А. Ю. (2011), Полимерный состав трепаного льняного волокна селекционных сортов льна-долгунца "Зарянка" и "Могилевский-2", *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*, 2011, Т. 54, № 6, С. 93–96.
 7. Кокшаров, С. А., Алеева, С. В., Кудряшова, Т. А., Кудряшов, А. Ю. (2008), Свойства льняного волокна селекционного сорта льна-долгунца "А-93" с опытных участков в тверской и костромской областях, *Химия растительного сырья*, 2008, № 3, С. 51–54.
 8. Оболенская, А. В., Щеголев, В. П., Аким, Г. Л., Аким, Э. Л., Коссович, Н. Л., Емельянова, И. З. (1965), *Практические работы по химии древесины и целлюлозы*, М., 1965, 411 с.
 9. Иванов, А. Н. (1989), *Физико-химические основы технологии приготовления льнотресты*: дисс. ... докт. техн. наук, Кострома, 1989, 535 с.
 10. Усов, А. И., Яроцкий, С. В. (1974), Раздельное определение гексоз и пентоз при помощи о-толуидинового реагента, *Известия АН СССР. Серия химическая*, 1974, № 4, С. 877–880.
 11. Ramesh, M. (2019), Flax (*Linum usitatissimum* L.) fibre reinforced polymer composite materials: A review on preparation, properties and prospects, *Progress in Materials Science*, 2019, Vol. 102, pp. 109–166.
 12. Алеева, С. В. (2013), Влияние содержания лигнина и гемицеллюлоз на жесткость льняных тканых полотен, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2013, № 5 (347), С. 129–131.
 4. STB 1850-2009. *Flax short fiber. Specifications*, Vved. 30.04.2008, Minsk, Gosstrandart, 31 p.
 5. STB 1195-2008. *Flax scutched long fiber. Specifications*, Vved. 29.12.2008, Minsk, Gosstrandart, 17 p.
 6. Koksharov, S. A., Aleeva, S. V., Skobeleva, O. A., Kudryashov, A. Yu. (2011), Polimernyj sostav trepanogo l'njanogo volokna selekcionnyh sortov l'na-dolgunca "Zarjanka" i "Mogilevskij-2" [Polymer composition of scutched flax fiber of varieties of long-fibred flax "Zaryanka" and "Mogilev-2"], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: himija i himicheskaja tehnologija*, 2011, Vol. 54, № 6, pp. 93–96.
 7. Koksharov, S. A., Aleeva, S. V., Kudryashova, T. A., Kudryashov, A. Yu. (2008), Svoystva l'njanogo volokna selekcionnogo sorta l'na-dolgunca "A-93" s opytnyh uchastkov v tverskoj i kostromskoj oblastjah [The properties of linen fiber of the selection variety of fiber of the selection variety of long-fibred flax "A-93" from experienced sites in the Tver and Kostroma regions], *Himija rastitel'nogo syr'ja – Chemistry of plant raw materials*, 2008, № 3, pp. 51–54.
 8. Obolenskaja, A. V., Shhegolev, V. P., Akim, G. L., Akim, Je. L., Kossovich, N. L., Emel'janova, I. Z. (1965), *Prakticheskie raboty po himii drevesiny i celljulozy* [Practical works on wood chemistry and cellulose], М., 1965, 411 p.
 9. Ivanov, A. N. (1989), *Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii prigotovlenija l'notresty* [Physical-chemical foundations of preparing rotted straw]: dissertation for doctor of technical science, Kostroma, 1989, 535 p.
 10. Usov, A. I., Jarockij, S. V. (1974), Separate determinations of hexoses and pentoses with the help of an o-toluidine reagent [Razdel'noe opredelenie geksoz i pentoz pri pomoshhi o-toluidinovogo reagenta], *Izvestija AN SSSR. Serija himicheskaja – Izvestia of the Academy of Sciences of the USSR. Chemical series*, 1974, № 4, pp. 877–880.

13. Алеева, С.В. (2014), *Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: дисс. ... докт. техн. наук*, Иваново, 2014, 396 с.
11. Ramesh, M. (2019), Flax (*Linum usitatissimum* L.) fibre reinforced polymer composite materials: A review on preparation, properties and prospects, *Progress in Materials Science*, 2019, Vol. 102, pp. 109–166.
12. Aleeva, S. V. (2013), The effect of lignin and hemicellulose content on the stiffness of linen woven fabrics [Vliyanie soderzhanija lignina i gemicelljuloz na zhestkost' l'njanyh tkanyh poloten], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – Proceedings of higher educational institutions. Textile technology*, 2013, № 5 (347), pp. 129–131.
13. Aleeva, S. V. (2014), *Metodologicheskie osnovy sovershenstvovaniya processov biohimicheskoj modifikacii l'njanyh tekstil'nyh materialov* [Methodological foundations of improving the processes of biochemical modification of linen textile materials]: dissertation for doctor of technical science, Ivanovo, 2014, 396 p.

Статья поступила в редакцию 01. 11. 2021 г.