

EDN: OQNYPV

DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-55-61



Научная статья

УДК 677.027



Обоснование режимов нового универсального способа сушки короткого льноволокна

Эдуард Валерьевич Новиков,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: e.novikov@fncl.ru;

Ирина Николаевна Алтухова,
старший научный сотрудник,
e-mail: i.altuhova@fncl.ru;

Евгения Николаевна Королева,
старший научный сотрудник,
e-mail: e.koroleva@fncl.ru;
Александр Владиславович Безбабченко,
старший научный сотрудник,
e-mail: a.bezbabchenko@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (FGSS-2022-0007).

Реферат. Часто на предприятия глубокой переработки поступает короткое льноволокно с повышенной влажностью, которое нужно подсушить до технологических параметров. (Цель исследования) Изучить влияние параметров процесса (скорость, расход агента сушки, нагнетание и разрежение воздуха, температура воздуха в сушильной камере) на продолжительность сушки короткого и однотипного льноволокна. (Материалы и методы) Исследования проводились в новой сушильной установке с рециркуляцией воздуха. Льноволокно предварительно увлажняли до 35-40 процентов и загружали в рабочую камеру. Перед началом сушки и затем каждую минуту волокно взвешивалось для определения потери влаги. Также перед началом процесса и далее каждую минуту измерялась температура воздуха на входе в сушильную камеру, на выходе из нее и в камере смешивания. Опыты проводились при различном сочетании в сушильной камере скорости и расхода поступающего и удаляемого воздуха. Начальная температура агента сушки составляла 70-80 градусов Цельсия, относительная влажность 5 процентов; средняя температура воздуха в цехе 17 градусов Цельсия, степень рециркуляции 1,4. (Результаты и обсуждение) Длительность сушки короткого льноволокна от влажности 30 до 14 процентов составляет 1,3-1,9 минуты. Изменение режима продувки с нагнетания на разрежение существенно не влияет на время сушки; для эффективной сушки следует применять скорость воздуха 8-9 метров в секунду. Температура агента сушки постоянно возрастает, температура отработанного воздуха сначала снижается на 25-28 градусов Цельсия, затем возрастает, а температура смешанного воздуха почти не изменяется. (Выводы) Впервые для изучаемого способа сушки короткого льноволокна в новой установке с рециркуляцией воздуха определены рациональные параметры процесса: длительность 1,3-1,4 минуты, температура агента сушки 75-80 градусов Цельсия, а также оптимальные сочетания расхода и скорости подаваемого и удаляемого воздуха.

Ключевые слова: короткое льноволокно, время сушки, скорость воздуха, расход воздуха.

■ **Для цитирования:** Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Королева Е.Н., Безбабченко А.В. Обоснование режимов нового универсального способа сушки короткого льноволокна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N4. С. 55-61. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-55-61. EDN: OQNYPV.

Scientific article

Substantiation of Drying Modes for a New Universal Method of Short Flax Fiber Drying

Edward V. Novikov,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: e.novikov@fncl.ru;

Irina N. Altukhova,
senior researcher,
e-mail: i.altuhova@fncl.ru;

Evgenya N. Koroleva,
senior researcher,
e-mail: e.koroleva@fncl.ru;
Alexander V. Bezbabchenko
senior researcher,
e-mail: a.bezbabchenko@fncl.ru

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state task of the Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific Center for Bast Crops» (FGSS-2022-0007).

Abstract. Deep processing enterprises often receive short flax fibers with high moisture content, which must be dried to meet processing requirements. (*Research purpose*) To investigate the effect of process parameters (speed, drying agent consumption, air injection and vacuum, air temperature in the drying chamber) on the drying time of short and uniform flax fibers. (*Materials and methods*) The studies were conducted using a new drying unit with air recirculation. Flax fibers were pre-moistened to a moisture content of 35-40 percent and loaded into the working chamber. Before drying, and then at one-minute intervals during the process, the fibers were weighed to monitor moisture loss. Additionally, the air temperature at the inlet and the outlet of the drying chamber, as well as in the mixing chamber, was measured before the start of the process and then at one-minute intervals. Experiments were conducted using various combinations of speed and flow rates for both incoming and outgoing air in the drying chamber. The initial temperature of the drying agent was 70-80 degrees Celsius, with a relative humidity of 5 percent. The average ambient temperature in the facility was 17 degrees Celsius, and the recirculation degree was 1.4. (*Results and discussion*) The drying duration of short flax fibers from a moisture of 30 to 14 percent is 1.3-1.9 minutes. Switching the airflow mode from injection to vacuum does not significantly affect the drying time; for effective drying, an air speed of 8-9 meters per second should be maintained. The temperature of the drying agent continuously increases, while the exhaust air temperature initially drops by 25-28 degrees Celsius before rising again. The temperature of the mixed air remains almost unchanged. (*Conclusions*) For the first time, optimal process parameters have been determined for drying short flax fibers in a new installation with air recirculation: a drying duration of 1.3-1.4 minutes, a drying agent temperature of 75-80 degrees Celsius, as well as ideal combinations of airflow rate and speed for both the incoming and outgoing air.

Keywords: short flax fiber, drying time, air speed, air flow.

For citation: Novikov E.V., Altukhova I.N., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V. Substantiation of drying modes for a new universal method of short flax fiber drying. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 55-61 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-55-61. EDN: OQNYPV.

Сорта льна-долгунца отечественной селекции по основным признакам технологической ценности льносырья являются конкурентоспособными [1] при низкой себестоимости [2]. Этим обусловлено повышение интереса к применению лубяных волокон для производства текстильных материалов не только бытового, но и технического назначения, а также композиционных материалов [3]. На текстильную промышленность приходится львиная доля использования всего валового сбора лубяных культур [4, 5], и в условиях санкций и импортозамещения значение льна возрастает [6].

Одним из факторов развития аграрного производства является внедрение передовых технологий и обеспечение приоритетных позиций на мировых рынках [7]. Льноводство признано приоритетным направлением сельского хозяйства в 10 субъектах Российской Федерации [8]. В настоящее время теоретические и экспериментальные исследования в области консервирования льняного сырья высокой влажности не имеют практического применения [9]. В связи с этим рассматриваемая в работе конвективная сушка имеет высокую актуальность, она должна быть производительной [10] и с дифференцированным подводом тепловой энергии [11].

Предприятия глубокой переработки льна неоднократно указывали на превышение влажности у

поступающего сырья. Для обеспечения эффективной работы оборудования короткое и однотипное льноволокно необходимо подсушить до технологической влажности.

В ФНИЦ лубяных культур разработан универсальный способ сушки лубяных культур и волокон из них (патент RU 2650234). Его особенность заключается в том, что слой тресты или волокна транспортируется в горизонтальном слое и при этом высушивается потоком теплоносителя, поступающим одновременно с двух сторон. Два потока агента сушки движутся навстречу вдоль стеблей или волокна, высушивая продольный слой, а при встрече в средней части сушильной камеры потоки удаляются сверху вниз, продувая слой поперек.

Новая экспериментальная установка для всестороннего изучения описанного способа сушки представлена в [12]. Начаты полномасштабные исследования [13], в том числе на тресте льна-долгунца в виде путанины. Определено влияние расходов и скорости воздуха на время процесса, обоснованы рациональные режимы сушки.

Предложенный способ конвективной сушки универсален, предназначен для сушки целых параллелизованных, а также ломаных спутанных стеблей тресты льна, конопля и различных волокон из них. Следует изучать этот процесс, в частности на коротком и однотипном льноволокне.

Известно, что основной задачей кинетики сушки является определение длительности сушки, аналитическое решение этого параметра очень сложное и не всегда возможно [14], поэтому принято решение выполнить экспериментальные исследования.

Цель работы. Изучить влияние скорости, расхода агента сушки, процессов нагнетания и разрежения воздуха, а также изменения температуры воздуха в камере во время сушки короткого, однотипного льноволокна, обосновать рациональные режимы работы оборудования.

Материалы и методы. Универсальный способ сушки лубяных культур изучался на новой установке с рециркуляцией воздуха (рис. 1).

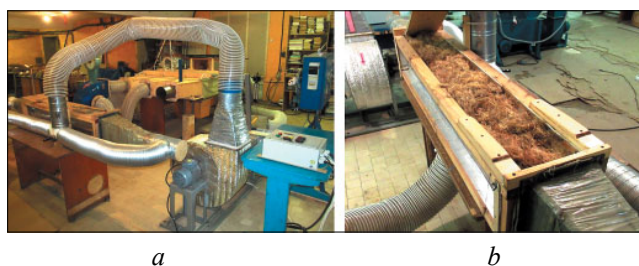


Рис. 1. Общий вид установки со стороны сушильной камеры и электрического теплогенератора (а); сушильная камера с открытой крышкой и загруженным коротким льноволокном (б)

Fig. 1. A general view of the installation showing the drying chamber and electric heat generator (a); a view of the drying chamber with the lid open and loaded with short flax fiber (b)

В опытном исследовании использовано классическое волокно льняное короткое, произведенное на льнозаводе, с показателями качества по ГОСТ Р 54584-2011 «Волокно льняное короткое. Технические условия».

Массовая доля костры и сорных примесей, %	18
Удельный вес костры, %:	
несвязанной	12
связанной	88
Разрывная нагрузка скрученной ленточки:	
кгс	14,5
Н	142,1
даН	14,2
Номер	4
Средняя массодлина, мм	205,1
Линейная плотность, текс	17,2

Льноволокно прочное, содержание костры невысокое, процент несвязанной костры минимальный. После прогрева экспериментальной установки льноволокно вручную помещали в сушильную камеру с влажностью от 35 до 40%. Конструктивно-технологическая схема установки приведена на рисунке 2.

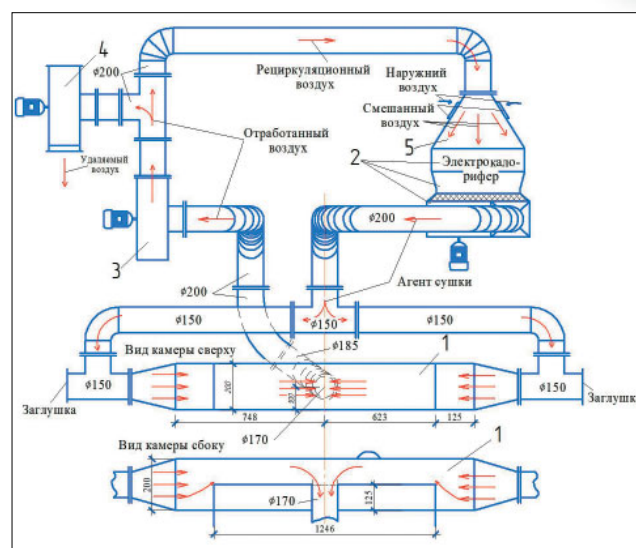


Рис. 2. Экспериментальная сушильная установка
Fig. 2. Experimental drying plant

Перед началом сушки и далее через каждую минуту замерялась температура воздуха t_1 (агента сушки) на входе в сушильную камеру 1, на выходе из нее t_2 (отработанный воздух) и $t_{см}$ (смесь наружного воздуха с рециркуляционным) в камере смешивания 5. Для определения снижения влаги через каждую минуту волокно взвешивалось. Воздух нагревается в электрическом термогенераторе 2.

Принимались различные сочетания скорости и расхода поступающего в сушильную камеру и удаляемого воздуха при нагнетании и разрежении. Режим нагнетания или разрежения устанавливался по расходу воздуха, который регулировали по частотным преобразователям подающих и удаляющих воздух вентиляторов 3 и 4. Расход воздуха изменялся от 700 до 2200 м³/ч, скорость – от 4 до 11 м/с (таблица). Начальная температура агента сушки составляла 70-80 °С, относительная влажность 5%, средняя температура воздуха в цехе 17 °С при рециркуляции 1,4.

По полученным данным построены графические зависимости изменения влажности волокна от времени сушки $W = f(\tau)$, по которым определялась продолжительность при влажности от 30 до 14%. Опыты проводились в шестикратной повторности, относительная гарантийная ошибка не превышала 10%.

Результаты и обсуждение. Исследования изучаемого способа сушки короткого льноволокна на 12 режимах показали, что в начале сушки короткого льноволокна отсутствует процесс прогрева (рис. 3).

При высушивании волокна от влажности 30 до 14% время, определенное по кривой сушки, составляет 1,3-1,9 мин (рис. 4). Сравнивая время сушки при режимах нагнетания и разрежения, например, режимы 1, 6, 9, 10 и другие, следует отметить, что смена продува воздуха с нагнетания на разрежение

РЕЖИМЫ СУШКИ (ПРОДУВКА) ЛЬНОВОЛОКНА / FLAX FIBER DRYING MODES (AIRFLOW)					
Режим сушки	Показания частотного преобразователя вентилятора (ЧРП), Гц		Скорость воздуха, м/с	Расход агента сушки/удаляемого воздуха, м³/ч	Нагнетание или разрежение
	при подаче агента сушки в камеру	при удалении отработанного воздуха			
1	40	30	4	800/700	Нагнетание
2		50	6	1200/1300	Разрежение
3		70	8	1600/1700	
4		90	10	2000/2100	
5	45	30	5	1000/900	Нагнетание
6		50	7	1300/1400	Разрежение
7		70	9	1700/1800	
8		90	11	2100/2200	
9	50	30	6	1100/1000	Нагнетание
10		50	7	1200/1300	Разрежение
11		70	8	1400/1500	
12		90	9	1600/1700	

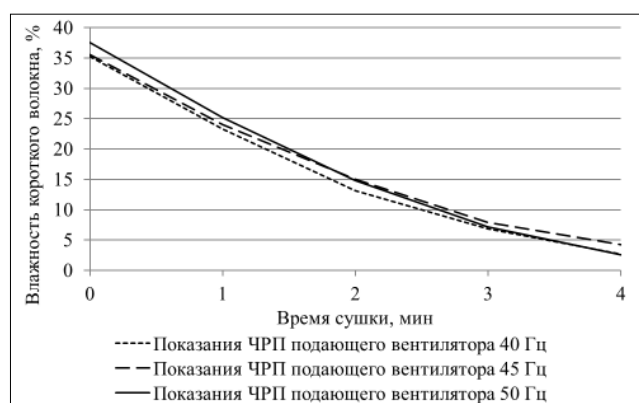


Рис. 3. Кривые сушки короткого льноволокна (согласно данным, приведенным в таблице)
Fig. 3. Drying curves of short flax fiber (according to the data provided in the table)

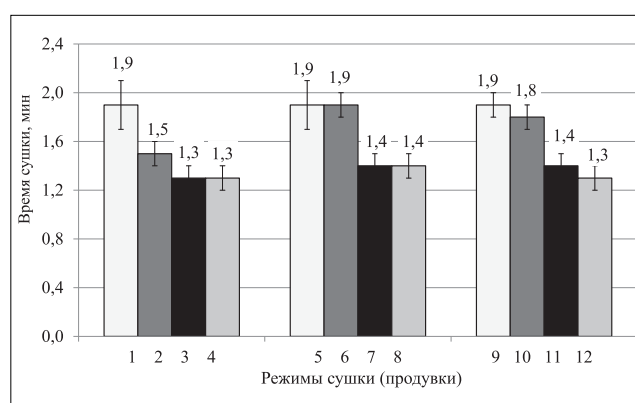


Рис. 4. Время сушки короткого льноволокна от влажности 30 до 14% при различных расходах агента сушки
Fig. 4. Drying time of short flax fibers from 30 up to 14% moisture content at various consumption rates of drying agent

не приводит к существенному изменению времени сушки. Однако только при разрежении будет обеспечена герметичность камеры, причем количество удаляемого из камеры воздуха должно быть на 100 м³/ч больше, чем поступающего.

Полученные значения времени сушки можно разделить на две группы: при расходах подаваемого и удаляемого в сушильную камеру воздуха от 900 до 1300 м³/ч (режимы 1, 2, 5, 6, 9, 10 и при расходах от 1400 до 2200 м³/ч (режимы 3, 4, 7, 8, 11, 12). Первые режимы обеспечивают время сушки 1,6-1,9 мин, вторые – 1,3-1,4 мин. Это указывает на то, что для сушки короткого и однотипного льноволокна в установке следует применять расходы подаваемого и удаляемого воздуха не менее 1400 м³/ч при скорости агента сушки не ниже 8 м/с (так как в соответствии с таблицей график зависимости времени сушки от скорости агента сушки будет выглядеть аналогично гра-

фику на рисунке 4, только по оси абсцисс будут расположены значения скорости). При этом время сушки в сравнении с меньшим расходом снижается на 0,3-0,6 минуты.

На основании предыдущего вывода для эффективной сушки и создания недорогой сушильной машины для короткого и однотипного льноволокна следует применять скорость воздуха 8-9 м/с.

Температура агента сушки постоянно возрастает, в среднем по всем режимам она составляла 79 °С, температура отработанного воздуха сначала снижается на 25-28 °С, затем возрастает, а температура смешанного воздуха (наружного, смешанного с рециркуляционным перед нагреванием в теплогенераторе) почти не изменяется (рис. 5).

Для дальнейших исследований представленно-го способа продувки нецелесообразно применять следующие режимы сушки: 1, 2, 5, 6, 9, 10 и 12 (по данным таблицы и рис. 4).

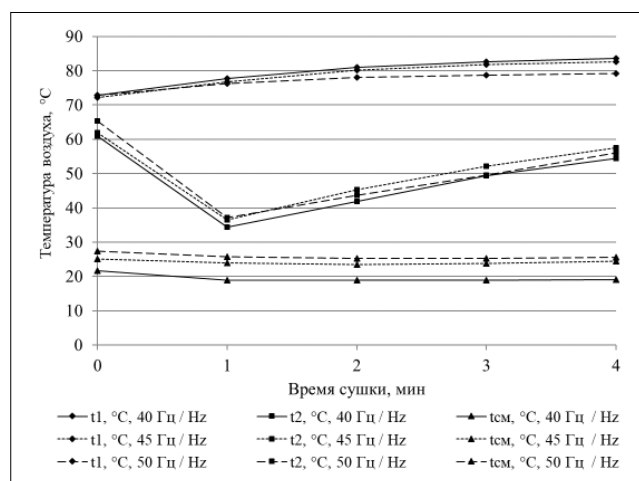


Рис. 5. Зависимость средних значений температуры воздуха от времени сушки короткого льноволокна при различных режимах продувки

Fig. 5. Dependence between average air temperatures and drying duration at various airflow drying modes for short flax fibers

Сравнивая результаты представленных исследований с результатами конвективной сушки, выполненной на других недавно разработанных аналогичных машинах для сушки рулонов тресты в модернизированной машине СЛР-2М [15], тресты в слое при продувке вдоль стеблей в машинах УПСЛТ-1,3 [16] и МС-1 [17], тресты в слое в другом

перспективном способе [18], можно отметить меньшее время сушки в исследованном и предлагаемом конвективном процессе, а значит его более высокую эффективность.

Выводы. Продолжены исследования новой экспериментальной сушильной установки, реализующей универсальный способ конвективной сушки лубяных культур и волокон из них на коротком и однотипном льноволокне.

Впервые для изучаемого способа определено влияние скорости, расхода агента сушки и удаляемого воздуха на время сушки короткого и однотипного льноволокна. Обоснованы рациональные параметры: время сушки 1,3-1,4 мин, температура агента сушки 75-80 °C.

Энергосберегающее высушивание должно проходить при разрежении и следующих режимах: расход входящего/удаляемого воздуха: 1400/1500 м³/ч при скорости агента сушки 8 м/с (режим 11); 1600/1700 и 1700/1800 м³/ч при скоростях 8 и 9 м/с (режимы 3 и 7). В крайнем случае, можно применить менее энергосберегающие режимы 2000/2100 м³/ч при скорости воздуха 10 м/с и 2100/2200 м³/ч при скорости 11 м/с (режимы 4 и 8).

Полученные данные необходимы для дальнейших исследований нового универсального способа сушки на примере других лубяных культур и волокон из них при меньших затратах времени, электрической и тепловой энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н. Сравнительный анализ результатов переработки льнотресты сортов льна-долгунца отечественной и иностранной селекции по основным хозяйственно-ценным признакам // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2021. N2 (392). С. 61-67. DOI: 10.47367/0021-3497-2021-2-61.
2. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Кудрявцев Н.А. и др. Влияние факторов окружающей среды на урожай и качество льняного сырья // *Вестник аграрной науки*. 2020. N5 (86). С. 3-10. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.5.3.
3. Дягилев А.С., Быковский Д.И., Реймер В. и др. Сравнительный анализ физико-механических свойств длинного трепаного льноволокна и бананового волокна // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. N1 (397). С. 143-148. DOI: 10.47367/0021-3497-2022-1-143.
4. Смирнов В.Н. Исследования рынка сырьевых культур для текстильной промышленности России // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2021. N4 (394). С. 94-96. DOI: 10.47367/0021-3497-2021-4-94.
5. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Безбабченко А.В. Возможность получения длинного волокна из тресты масличного льна на различном технологическом оборудовании // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N 2. С. 19-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-19-25.
6. Перов М.Г. Анализ состояния и пути повышения качества льнотресты // *Наука в Центральной России*. 2022. Т. 58. N4. С. 53-61. DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-53-61.
7. Лаврентьева Е.П., Санина О.К., Белоусов Р.О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2022. N3 (399). С. 130-139. DOI: 10.47367/0021-3497-2022-3-130.
8. Борисова О.В., Жилин И.Е. Развитие льноперерабатывающей промышленности на юге Сибири. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022. Vol. 5-4 (68). С. 69-72. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-5-4-69-72.
9. Berezovsky Yu., Kuzmina T., Yedinovich M. et al. Technical and technological solutions for producing fibre from bast crops. *Inmateh Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 64. N2.
10. Павлов С.А., Фролова Т.Ф. Исследование сушки зер-

- на в автоматизированном сушильном агрегате // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 29-34. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-29-34.
11. Пастухов А.Г., Добрицкий А.А., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Исследование физико-механических свойств семян тыквы как объекта сушки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N1. С. 52-59. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59.
 12. Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Королева Е.Н., Безбабченко А.В. Универсальный способ сушки лубяных культур // *Аграрный научный журнал*. 2023. N9. С. 128-133. DOI: 10.28983/asjy2023i9pp128-133.
 13. Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Королева Е.Н., Безбабченко А.В. Сравнительные исследования инновационного способа конвективной сушки лубяных культур // *Техника и оборудование для села*. 2022. N8 (302). С. 18-21. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-8-18-21.
 14. Олышанский А.И., Котов А.А. Тепломассоперенос в процессе конвективной сушки тонких плоских влажных материалов // *Вестник Витебского Государственного технологического университета*. 2020. N1 (38). С. 79-90. DOI: 10.24411/2079-7958-2020-13808.
 15. Носов А.Г., Киселев Н.В. Определение проницаемости льняной тресты высокой плотности // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2014. N5 (353). С. 36-39. EDN: TKPFJB.
 16. Васильев Ю.В., Киселев Н.В., Смирнов А.М. Оценка технологической эффективности нового способа термовлажностной подготовки льняной тресты // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2011. N5(334). С. 21-24. EDN: TMJHTN.
 17. Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Королева Е.Н., Безбабченко А.В. Обоснование параметров и режимов работы конвективной и инфракрасной сушки технической конопли для производства пеньки однотипной неориентированной // *Таврический вестник аграрной науки*. 2022. N1(29). С. 112-122. EDN: JQBMPS.
 18. Шушков Р.А., Трушанин А.С., Булатов А.М. Моделирование процесса сушки льнотресты и обоснование рациональных режимов работы перспективной сушильной машины // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2020. N4(61). С. 172-180. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14172.

REFERENCES

1. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Kozyakova N.N. Comparative analysis of results of processing of flax varieties of long-term flax of domestic and foreign selection by main economic and valuable characteristics. *Izvestiya vuzov. Textile Industry Technology*. 2021. N2 (392). 61-67 (In Russian). DOI: 10.47367/0021-3497-2021-2-61.
2. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Kudryavtsev N.A. et al. The influence of environmental factors on the crop and quality of fiber flax. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020. N5 (86). 3-10 (In Russian). DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.5.3.
3. Dyagilev A.S., Bykovski D.I., Reimer V. et al. Comparative analysis of physical and mechanical properties of long scutched flax fiber and banana fiber. *Izvestiya vuzov. Textile Industry Technology*. 2022. N1 (397). 143-148 (In Russian). DOI: 10.47367/0021-3497-2022-1-143.
4. Smirnov V.N. Market research of commodity crops for the textile industry of Russia. *Izvestiya vuzov. Textile Industry Technology*. 2021. N4 (394). 94-96 (In Russian). DOI: 10.47367/0021-3497-2021-4-94.
5. Koroleva E.N., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V. The possibility of obtaining long fiber from oilseed flax trusts on various technological equipment. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N2. 19-25 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-19-25.
6. Perov M. Analysis of the state and ways to improve the quality of flax. *Science in the Central Russia*. 2022. Vol. 58. N4. 53-61 (In Russian). DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-53-61.
7. Lavrenteva E.P., Sanina O.K., Belousov R.O. The deep processing of bast fibers as the way to the revival of the national traditions of Russia. *Izvestiya vuzov. Textile Industry Technology*. 2022. N3 (399). 130-139 (In Russian). DOI: 10.47367/0021-3497-2022-3-130.
8. Borisova O.V., Zhilin I.E. Development of the flax processing industry in the south of Siberia. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022. Vol. 5-4 (68). 69-72 (In Russian). DOI: 10.24412/2500-1000-2022-5-4-69-72.
9. Berezovsky Yu., Kuzmina T., Yedinovich M. et al. Technical and technological solutions for producing fibre from bast crops. *Inmateh Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 64. N2. (In English).
10. Pavlov S.A., Frolova T.F. Investigation of graindrying in an automated drying unit. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2018. Vol. 12. N4. 29-34 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-4-29-34.
11. Pastukhov A.G., Dobritsky A.A., Bakharev D.N., Volvak S.F. Investigation of the physico-mechanical properties of pumpkin seeds as an object of drying. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N1. 52-59 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-52-59.
12. Novikov E.V., Altukhova I.N., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V. A universal method of drying bast crops. *Agrarian Scientific Journal*. 2023. N9. 128-133 (In Russian). DOI: 10.28983/asjy2023i9pp128-133.
13. Novikov E.V., Altukhova I.N., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V. Comparative studies of innovative method of convective drying of bast crops. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022. N8 (302). 18-21 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-8-18-21.
14. Alshanski A.I., Kotow A.A. Heat and mass transfer during

- convective drying of thin flat wet materials. *Bulletin of the Vitebsk State University of Technology*. 2020. N1(38). 79-90 (In Russian). DOI: 10.24411//2079-7958-2020-13808.
15. Nosov A.G., Kiselev N.V. Research of the flax stalks permeability at high density. *Izvestiya vuzov. Textile Industry Technology*. 2014. N5 (353). 36-39 (In Russian). EDN: TKPFJB.
16. Vasiliev Yu.V., Kiselyov N.V., Smirnov A.M. Estimation of technological efficiency of a new method of hydrothermal preparation of a flax stock. *Izvestiya vuzov. Textile Industry Technology*. 2011. N5(334). 21-24 (In Russian). EDN: TMJHTN.
17. Novikov E.V., Altukhova I.N., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V. Justification of parameters and operating modes of convective and infrared drying of technical hemp for the production of undifferentiated non-oriented hemp fiber. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2022. N1(29). 112-122 (In Russian). EDN: JQBMP5.
18. Shushkov R.A., Trushanin A.S., Bulatov A.M. Modeling of the drying process of flax straw and justification of rational operating modes of a perspective dryer. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2020. 4(61). 172-180 (In Russian). DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14172.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Новиков Э.В. – определение направлений исследования, работа с текстом, формирование общих выводов;
Алтухова И.Н. – сбор данных, обработка материала, работа с текстом;
Королева Е.Н. – сбор данных, литературный анализ, обработка материала, работа с иллюстрациями и текстом;
Безбабченко А.В. – подготовка установки, работа с иллюстрациями и текстом.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Novikov E.V. – formulation of research directions, developing the manuscript text, formation of general conclusions;
Altukhova I.N. – data collection, material processing, developing the manuscript text;
Koroleva E.N. – data collection, literature review, material processing, working on the tables and diagrams for the manuscript;
Bezbabchenko A.V. – equipment setup, working on the tables and diagrams for the manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

28.09.2024
25.10.2024