

УДК 677.027

DOI 10.18286/1816-4501-2019-3-6-11

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПРИ КОНВЕКТИВНО-ИНФРАКРАСНОЙ СУШКЕ ЛЬНОТРЕСТЫ

Алтухова Ирина Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур»

Шевалдин Дмитрий Михайлович, старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур»

Безбабченко Александр Владиславович, руководитель подразделения, старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур»

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК)

170041, г. Тверь, Комсомольский проспект д. 17/56, e-mail: fnc_lk44@mail.ru.

Ключевые слова: льнотреста, комбинированная сушка, энергосбережение, агент сушки, параметры воздуха, теплота.

Развитие льняного комплекса России должно основываться на снижении себестоимости волокна, при этом важно повышать качество длинного льноволокна. Первым процессом, от которого зависит количество и качество льноволокна, является подсушка тресты до технологической влажности. ФГБНУ ФНЦ ЛК ведет научную работу по разработке энергосберегающей сушильной машины, которая работает по конвективно-инфракрасному способу сушки. В статье представлены конструктивно-технологическая схема инновационной энергосберегающей сушильной машины для льнозаводов и универсальная экспериментальная сушильная установка, которая в дополнение к трем электрокалориферам имеет инфракрасные нагреватели. Изучены продолжительность сушки тресты льна-долгунца нормальной степени вылежки при различных режимах, изменение температуры в процессе и определена экономия тепловой энергии. Исследования проводились при различных сочетаниях включения электрокалориферов с инфракрасными нагревателями и расходах воздуха – режимах сушки: режим 1 – конвекция с тремя электрокалориферами при расходе агента сушки, поступающего в льнотресту 2200 м³/ч, средней скорости агента сушки 4,3 м/с; режим 2 – конвекция с тремя электрокалориферами при расходе агента сушки 2500 м³/ч и его скорости 4,8 м/с; режим 3 – комбинированный (конвективно-инфракрасный) при включении трех электрокалориферов и двух ИК-нагревателей одновременно, расходе агента сушки 2500 м³/ч и его скорости 4,8 м/с. Представлены опытные кривые сушки и зависимости изменения температур воздуха различных состояний от продолжительности сушки. По результатам исследований научно обоснованы параметры и режимы сушки льнотресты, необходимые для разработки энергосберегающей сушильной машины, работающей по комбинированному способу, показана экономия тепловой энергии при использовании данной конструктивно-технологической схемы сушильной машины в 4,8 раза.

Введение

Развитие льняного комплекса России позволит не уступать имеющиеся позиции на международном рынке льнопродукции. Для реализации потенциальных возможностей и обеспечения национальных потребностей в лубяных волокнах это развитие должно основываться на

снижении себестоимости волокна [1].

В последние годы текстильные предприятия нашей страны все больше испытывают острый недостаток качественного сырья [2], поэтому важно улучшать качество длинного льноволокна, которое на рынке продукции пользуется повышенным спросом [3].

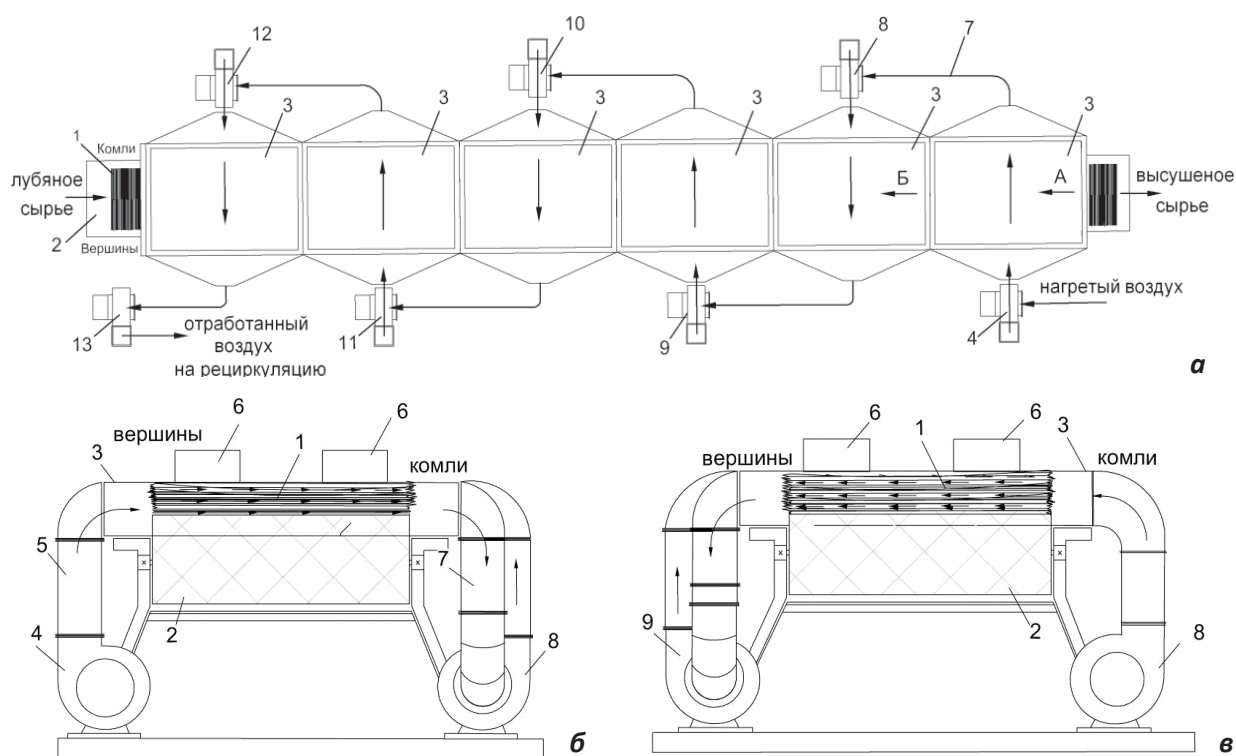


Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема энергосберегающей сушильной машины для льнотресты в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя:

а – вид сверху; б, в – поперечное сечение секции при различных направлениях движения теплоносителя: 1 – льнотреста; 2 – транспортер; 3 – отдельные сушильные секции; 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13 – вентиляторы; 5, 7 – воздухопроводы; 6 – ИК-нагреватели

Первым процессом, от которого зависит количество и качество длинного льноволокна, является подсушка льнотресты до технологической влажности. Эксплуатация существующих сушильных машин для льнотресты СКП-9-7ЛМ и СКП-1-10ЛУ (ЛУ1) в настоящее время экономически нецелесообразна. На сегодняшний день отсутствует проверенное на практике эффективное конструктивно-технологическое решение сушильной машины для льнотресты, которое обеспечивало бы существенное снижение затрат тепловой и электрической энергий при сохранении высокой производительности.

В работах [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] отмечено, что наиболее перспективно использовать продольный способ продувки льна (вдоль стеблей).

С учетом изложенного выше разработана конструктивно-технологическая схема энергосберегающей сушильной машины (рис. 1), использующей конвективно-инфракрасный способ сушки.

Представленная схема сушильной машины для льнотресты во многом повторяет схему, исследованную в работе [3]. В этой работе определено скоростное поле в сушильной камере, рекомендованы скорость и расход агента суш-

ки, однако в указанных исследованиях не определялась ее продолжительность, необходимая для разработки конструкции машины и не предлагалось ее совершенствование. Нами предложена усовершенствованная конструкция сушильной машины, сочетающая в себе конвективный способ сушки с инфракрасным за счет установки дополнительно двух ИК-нагревателей 6.

Вышесказанное указывает на необходимость продолжения исследований перспективного способа продувки стеблей льна-долгунца [10]. Для этого создана универсальная экспериментальная сушильная установка [11], которая в дополнение к трем электрокалориферам [10] имеет современные нагреватели, установленные на верхней крышке сушильной камеры.

Цель исследования - экспериментальное обоснование режимов комбинированного способа сушки льнотресты.

Для достижения поставленной цели необходимо провести исследования по изучению продолжительности процесса сушки льнотресты льна-долгунца нормальной степени вылежки при различных режимах изменения температуры и на основании полученных результатов определить экономию тепловой энергии.



Рис. 2 – Слой льнотресты в сушильной камере экспериментальной установки (верхняя крышка камеры снята):

а – вид сверху; б – поперечное сечение сушильной камеры

Объекты и методы исследований

Установка прогревалась в течение 10...15 минут, затем в сушильную камеру загружали увлажненную до влажности 33...35 % льнотресту нормальной степени вылежки, выровненную по комлям (рис. 2).

Льнотресту в камеру загружали таким образом, чтобы агент сушки продувал стебли вдоль от комлей к вершинам и от вершин к комлям [11] (рис. 2а). Через 2 минуты сушки слой льнотресты взвешивали и снова укладывали в камеру для дальнейшей сушки. Каждые 20 секунд с помощью жидкостных термометров фиксировали температуры агента сушки t_1 , обработанного воздуха t_2 и смеси воздуха в камере смешивания $t_{см}$.

Исследования проводили при следующих режимах:

– режим 1 – конвекция с тремя электрокалориферами при расходе агента сушки, поступающего в льнотресту $2200 \text{ м}^3/\text{ч}$, средней скорости агента сушки $4,3 \text{ м/с}$;

– режим 2 – конвекция с тремя электрокалориферами при расходе агента сушки $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и его скорости $4,8 \text{ м/с}$;

– режим 3 – комбинированный (конвективно-инфракрасный) при включении трех электрокалориферов и двух ИК-нагревателей одновременно, расходе агента сушки $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и его скорости $4,8 \text{ м/с}$.

По результатам строили кривые сушки и зависимости изменения температур воздуха различных состояний от продолжительности сушки для каждой повторности вариантов. Из этих зависимостей определяли продолжительность процесса при снижении влажности льнотресты с 30 % до 14 % и от 25 % до 14 %, а также изменение температуры воздуха. Полученные значения обрабатывали статистически с определением среднего арифметического; относительной гарантийной ошибки опытов (для определения достоверности опыта) и абсолютной гарантийной ошибки (для построения доверительного интервала).

Результаты исследований

Результаты исследований по вариантам представлены на рисунках 3 - 5.

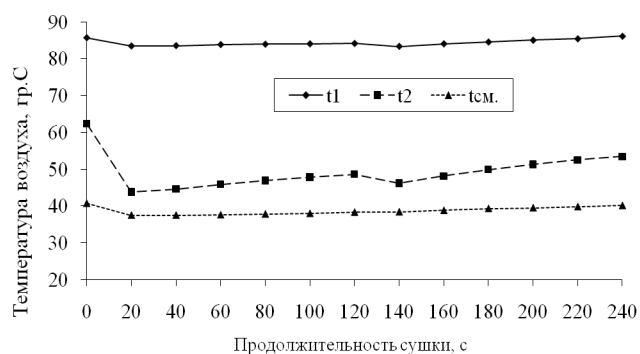
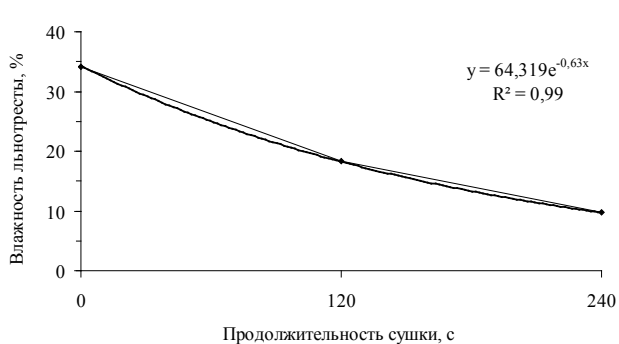
Достоверность проведенных опытов была удовлетворительная, так как относительная гарантийная ошибка опытов не превышала 10 %.

Характер изменения влажности льнотресты имеет вид экспоненты, при этом период прогрева льнотресты отсутствует (рис. 3а, 4а и 5а). Это означает, что испарение влаги из стеблей начинается сразу при поступлении стеблей под поток нагретого воздуха.

Конвективная сушка при режимах 1 и 2 с использованием температуры агента сушки $83...85 \text{ }^\circ\text{C}$ с относительной влажностью $6...7 \text{ %}$ (до 10 %) и его средней скорости внутри сушильной камеры (на нагнетании и на всасывании) $4,6 \text{ м/с}$ происходит за 144 с ($2,4 \text{ минуты}$) при снижении влажности с 30 % до 14 % и за 108 с ($1,8 \text{ минуты}$) - с влажности 25 % до 14 % (рис. 6).

Включение в работу дополнительно к трем электрокалориферам двух ИК-нагревателей тепловой мощностью по 1 кВт (режим 3) не уменьшило продолжительность сушки, которая осталась прежней – 144 с ($2,4 \text{ минуты}$) и 108 с ($1,8 \text{ минуты}$) соответственно (рис. 6). Это можно объяснить малой мощностью нагревателей, так как средняя температура воздуха при их использовании изменяется незначительно, с $82 \text{ }^\circ\text{C}$ до $85 \text{ }^\circ\text{C}$.

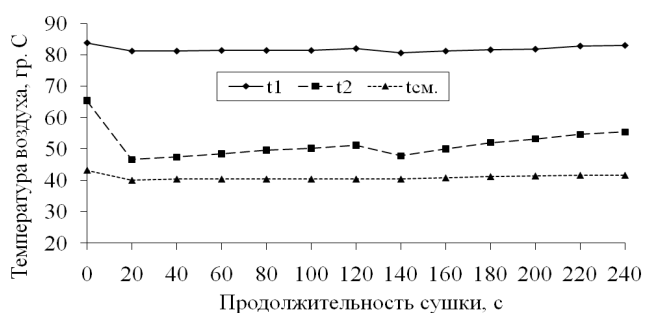
Также определено, что температура воздуха за весь процесс снижается в среднем:



а

б

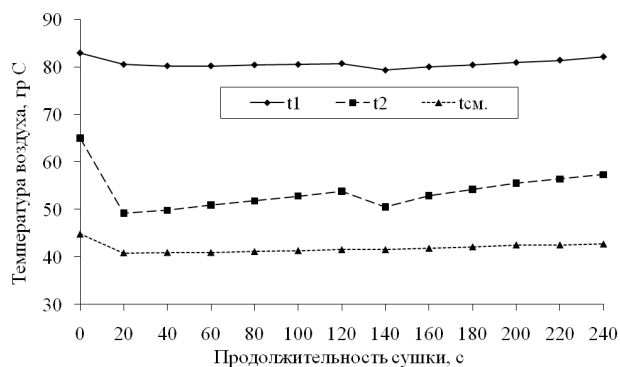
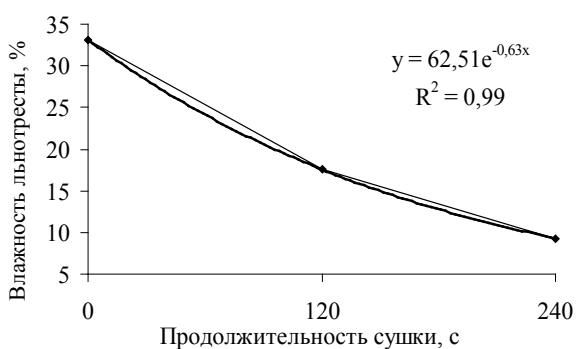
Рис. 3 – Кривая сушки (а) и изменение температуры воздуха (б) при режиме 1



а

б

Рис. 4 – Кривая сушки (а) и изменение температуры воздуха (б) при режиме 2



а

б

Рис. 5 – Кривая сушки (а) и изменение температуры воздуха (б) при режиме 3

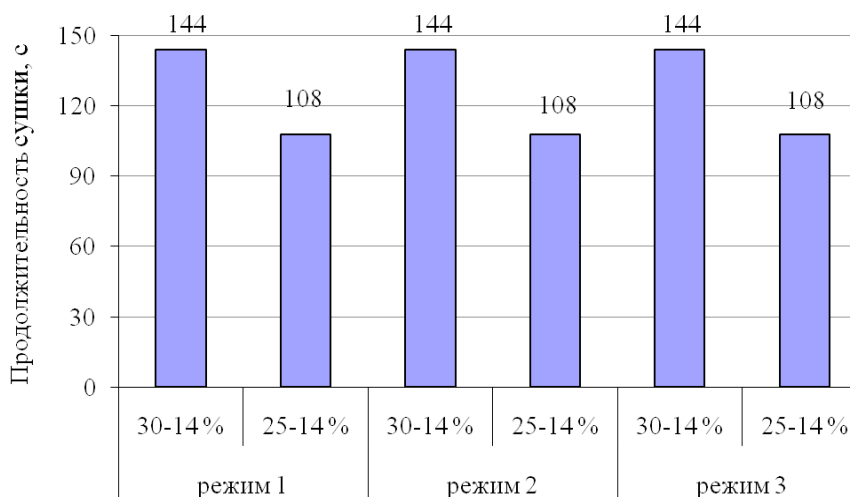


Рис. 6 – Продолжительность сушки льнотресты

при режиме 1 – на 34...35 °С, в режиме 2 – на 29...30 °С.

Температура отработанного воздуха в начале процесса (через 20 с от его начала) снижается существенно (рис. 3б, 4б и 5б), в среднем на 18 °С, но это не приводит к значительному изменению температуры смешанного воздуха.

При анализе рисунка 6 выявлено, что увеличение расхода воздуха на 300 м³/ч, т.е. при переходе с режима 1 на режимы 2 и 3, не приводит к уменьшению продолжительности сушки.

Далее определена расчетная экономия тепловой энергии при внедрении предлагаемой машины с машиной СКП-1-10ЛУ, работающей на льнозаводах (базовый вариант).

Сравнение производили по расходу теплоты в кВт на нагрев воздуха, используя зависимость

$$Q = V_v \rho_v c_v (t_1 - t_0),$$

где V_v и ρ_v – соответственно расход и плотность агента сушки, м³/ч и кг/м³; c_v – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С); t_0 , t_1 – температура входящего в нагреватель воздуха и агента сушки, соответственно, °С.

Расход агента сушки для базового варианта - 12000 м³/ч, для предлагаемого варианта - 2500 м³/ч (см. выше).

$Q_1 = 12000/3600 \cdot 1,072 \cdot 1,1 \cdot (70 - 18) = 204,4$ кВт – для базового варианта;

$Q_2 = 2500/3600 \cdot 1,072 \cdot 1,1 \cdot (70 - 18) = 42,6$ кВт – для предлагаемого варианта.

Расчет показал, что для предлагаемого способа продувки льнотресты по сравнению с существующим способом требуется в 4,8 раза меньше теплоты на подготовку нагретого воздуха, то есть 42,6 кВт против 204,4 кВт. Это значит, что затраты теплоты соответственно составят 1095 кДж/кг и 5256 кДж/кг испаренной влаги.

Выводы

1. Научно обоснованные режимы сушки льнотресты для предлагаемой энергосберегающей сушильной машины, использующей комбинированный способ сушки, следующие: продолжительность сушки льнотресты нормальной степени вылежки – 150...180 с при расходе агента сушки 2500...3000 м³/ч, его скорости 4...5 м/с и температуре 83...85 °С.

2. Увеличение расхода агента сушки на 300 м³/ч с одновременным включением в работу двух ИК-нагревателей общей тепловой мощностью 2 кВт существенно не влияет на продолжительность сушки.

3. Экономия тепловой энергии на нагрев

агента сушки при использовании предлагаемой конструктивно-технологической схемы сушильной машины по сравнению с СКП-1-10ЛУ составляет 4161 кДж/кг испаренной влаги.

Библиографический список

1. Севостьянова, Е.В. Внедрение результатов НТП в сельское хозяйство США / Е.В. Севостьянова, А.А. Агафонова // Инновационная экономика и общество. – 2016. - № 4(14). – С. 63-67.

2. Смирнов, Н.А. О ситуации в льняном комплексе страны / Н.А. Смирнов, В.Н. Соколов // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур: Материалы Международной научно-практической конференции – Тверь: Твер. гос. ун-т. 2015. – 362 с.

3. Качество льносырья, волокна и эффективность первичной переработки в льнокомплексе России / Э.В. Новиков, Е.Н. Королева, А.В. Безбабченко, И.В. Ущуповский // Машинно-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе. Сборник научных трудов ФГБНУ «ВНИИМЛ». -Тверь. Твер. Гос. ун-т. 2014. – С. 196-200.

4. Пашин, Е.Л. Предпосылки к разработке новой сушильной машины для льняной тресты [Электронный ресурс]: Научный вестник КГТУ.- № 2.- 2014. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> <http://www.kstu.edu.ru/>».HYPERLINK «<http://www.kstu.edu.ru/>»

5. Пашин, Е.Л. Исследование параметров слоя, влияющего на эффективность сушки льняной тресты / Е.Л. Пашин, Н.В. Киселев // Вестник КГТУ. – 2012. - № 1. – С. 8-11.

6. Васильев, Ю.В. Разработка энергосберегающей машины и способа термовлажностной подготовки тресты льна к механической обработке / Ю.В. Васильев // Материалы научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВНИИ льна. – Тверь, ВНИИЛ, 2010 г. – С. 365-367.

7. Патент РФ № 2430318. Способ сушки льняной тресты; автор: Е.Л. Пашин – заявл. 09.07.2009. Оpubл. 27.09.2011.

8. Патент РФ № 2550290. Способ сушки льняной тресты; авторы: Е.Л. Пашин, Н.В. Киселев, Е.Э. Иванов – заявл. 06.08.13. Оpubл. 10.05.2015.

9. Пашин, Е.Л. Создание опытного образца сушильной машины для тресты льна и отходов его трепания / Е.Л. Пашин, Н.В. Киселев // Материалы Международной конференции «Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур» - Тверь, Тверск.

госуд. ун-т, 2016. – С. 266-270.

10. Новиков, Э.В. Исследование перспективного способа продувки стеблей льна-долгунца, реализованного в инновационной сушильной машине для льнозаводов / Э.В. Новиков, И.Н. Алтухова, А.В. Безбабченко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2018. - № 4 (44). - 2018. – С. 58-64.

11. Экспериментальная установка для изучения конвективной и инфракрасной сушки льносырья / А.В. Безбабченко, Э.В. Новиков, Д.М. Шевалдин, В.В. Коновалов // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур: Материалы Международной научно-практической конференции – Тверь: Твер. гос. ун-т. 2016. – С. 270-278.

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF OPERATING MODES OF CONVECTIVE INFRARED DRYING OF FLAX STRAW

Altukhova I.N., Shevaldin D.M., Bezbabchenko A.V.
Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center of fiber crops" 170041,
Tver, Komsomolsky av., 17/5b, e-mail: fnc_ik44@mail.ru.

Key words: flax straw, combined drying, energy saving, drying agent, air parameters, heat.

The development of flax complex in Russia should be based on reducing the cost of fiber, while it is important to improve the quality of long flax fiber. The first process, on which the quantity and quality of flax fiber depends, is the drying of the straw to technological humidity. Federal State Budgetary Institution "Federal Scientific Center of fiber crops" conducts scientific work on the development of an energy-saving drying machine, which works by means of convective-infrared drying method. The article presents a structural and technological scheme of an innovative energy-saving drying machine for flax plants and a universal experimental drying unit, which in addition to three electric heaters has infrared heaters. We studied the drying duration of linen flax straw of normal aging degree using various modes, temperature change in the process and determined heat energy saving. The studies were carried out with various combinations of switching on electric heaters with infrared heaters and air flow - drying modes: mode 1 - convection with three electric heaters at a flow rate of the drying agent entering the flax straw of 2200 m³ / h, average drying agent speed of 4.3 m / s; mode 2 - convection with three electroheaters at a flow rate of the drying agent of 2500 m³ / h and its speed of 4.8 m / s; mode 3 - combined (convective-infrared) when three electric heaters and two infrared heaters are turned on simultaneously, the flow rate of the drying agent is 2500 m³ / h and its speed is 4.8 m / s. Experimental drying graphics and dependence of air temperature changes of different states on drying duration are presented. According to the research results, the parameters and modes of flax straw drying necessary for development of an energy-saving drying machine which works by means of combined method are scientifically substantiated, the saving of heat energy of the drying machine is by 4.8 times.

Bibliography

1. Sevostyanova, E.V. The introduction of results of scientific and technical progress in the US agriculture / E.V. Sevostyanova, A.A. Agafonova // Innovative economy and society. - 2016. - No. 4 (14). - P. 63-67.
2. Smirnov, N.A. About the situation in the flax complex of the country / N.A. Smirnov, V.N. Sokolov // Innovative development in production and processing of fiber crops: materials of International Scientific and Practical Conference - Tver: Tver state University 2015. - 362 p.
3. Novikov, E.V. The quality of flax raw materials, fibers and the effectiveness of primary processing in the flax complex of Russia / E.V. Novikov, E.N. Koroleva, A.V. Bezbabchenko, I.V. Ushchapovsky // Machine-technological modernization of flax agriculture on an innovative basis. Collection of scientific works of the Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Institute of Mechanization of Flax Production. Tver. Tver state university 2014. - P. 196-200.
4. Pashin, E.L. Contiditions for development of a new drying machine for flax straw [Electronic resource]: Electronic Vestnik of KSTU No. 2, 2014, release date 14.11.2014. - Access mode: .ru.
5. Pashin, E.L. Investigation of the layer parameters affecting the drying efficiency of flax staw / E.L. Pashin, N.V. Kiselev // Vestnik of KSTU. - 2012. -. №1. - P. 8-11.
6. Vasiliev, Yu.V. Development of an energy-saving machine and method for thermo-humid preparation of flax straw for mechanical processing / Yu.V. Vasiliev // Materials of the scientific-practical conference dedicated to the 80th anniversary of the All-Russian Research Institute of Flax. - Tver, Federal Scientific Center of fiber crops, 2010 - P. 365-367.
7. Patent RF No. 2430318. Method for drying flax straw; author: E.L. Pashin - appl. 09.07.2009. Publ. 27.09.2011.
8. Patent RF No. 2550290. Method for drying flax straw; author: E.L. Pashin, N.V. Kiselev, E.E. Ivanov - appl. 06.08.13. Publ. 10.05.2015.
9. Pashin, E.L. Development of a prototype of a drying machine for flax staw and waste of its scutching / E.L. Pashin, N.V. Kiselev // Materials of the International Conference "Innovative Developments for Production and Processing of fiber Crops" - Tver, Tver state university, 2016. -P. 266-270.
10. Novikov, E.V. A study of a promising method of blowing flax stalks, implemented in an innovative drying machine for flax plants / E.V. Novikov, I.N. Altukhova, A.V. Bezbabchenko // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2018. Issue. 4 (44), 2018. -P. 58-64.
11. An experimental unit for studying convective and infrared drying of flax raw materials / A.V. Bezbabchenko, E.V. Novikov, D.M. Shevaldin, V.V. Kononov // Innovative developments in production and processing of fiber crops: Materials of the International scientific-practical conference - Tver: Tver State University. 2016. - P. 270-278.