**Обоснование режимов работы
энергосберегающей сушильной
машины для льнотресты
в конвективном и инфракрасном
потоке теплоносителя**

И.Н. Алтухова,
старший научный сотрудник
Э.В. Новиков,
кандидат технических наук
Д.М. Шевалдин,
старший научный сотрудник
А.В. Безбабченко,
старший научный сотрудник

ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур
Россия, 170041, г. Тверь, Комсомольский пр., 17/56
Тел.: (4822) 41-61-10
E-mail: fnc_lk44@mail.ru

Для цитирования: Алтухова И.Н., Новиков Э.В., Шевалдин Д.М., Безбабченко А.В. Обоснование режимов работы энергосберегающей сушильной машины для льнотресты в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя // Масличные культуры. – 2019. – Вып. 3 (179). – С. 74–78.

Ключевые слова: льнотреста, конвективная сушка, инфракрасная сушка, агент сушки, время сушки, скорость воздуха, расход воздуха, параметры и режимы работы.

Представлены конструктивно-технологическая схема энергосберегающей конвективно-инфракрасной сушильной машины и экспериментальная установка для ее исследования, на которой проводились опытные сушки льнотресты с целью обоснования параметров и режимов работы сушильной машины. Исследования проводили при различных температурах и расходах агента сушки, а также при различных сочетаниях одновременного включения ИК-нагревателей с электрокалориферами. По результатам опытов строились кривые сушки, а также графики зависимости продолжительности сушки от температуры агента сушки. Сделаны выводы о степени влияния на продолжительность сушки температуры агента сушки и мощности ИК-нагревателей.

Reasoning of the operating modes of energy saving dryer for flax straw in convection and infrared flux of heat transfer fluid.

I.N. Altukhova, senior researcher
E.V. Novikov, PhD in engineering
D.M. Shevaldin, senior researcher
A.V. Bezbabchenko, senior researcher

Federal Research Center of Fiber Crops
17/56, Komsomolsky pr., Tver, 171041, Russia
Tel.: +7 (4822) 41-61-10
E-mail: fnc_lk44@mail.ru

Keywords: flax straw, convective drying, infrared drying, drying agent, drying time, air speed, air flow rate, parameters and operating modes.

We presents the constructive and technological scheme of energy saving convective-infrared dryer and an experimental installation for its study, where we conducted the experimental drying of flax straw with the purpose to substantiate parameters and operating modes of the drying machine. The studies included the different temperatures and rates of the drying agent, as well as different combinations of simultaneous inclusion of IR heaters and electric heaters. According to the results of the experiments, we lined up drying curves and dependance graphs of the drying duration on the temperature of the drying agent. We determined the degree of influence of the drying agent temperature and the power of IR heaters on the duration of drying.

Введение. Основная задача, стоящая перед льняной отраслью сегодня это создание надежной отечественной сырьевой базы для льноперерабатывающих предприятий. От успешного решения поставленной задачи зависит экономическая и стратегическая безопасность страны [1]. Задачей реконструкции индустриального комплекса текстильной промышленности является обновление производства в соответствии с достигнутым уровнем научно-технического прогресса [2]. Для обеспечения эффективности работы льнозаводов необходимо использовать, прежде всего, их внутренние резервы. Отсутствие у предприятий оборотных средств не позволяет им своевременно проводить машинно-технологическую модернизацию производства, и, как

следствие, износ технологического оборудования на льнозаводах доходит до 60 %, а в отдельных регионах до 90–100 % [3].

Высокое качество исходного сырья является определяющим показателем для обеспечения экономической эффективности работы всех линий для производства трепаного льна.

Повышенное качество длинного льноволокна (повышение номера) на рынке продукции пользуется большим спросом [3; 4], а получить такое качество невозможно без процесса сушки льнотресты.

Ранее разработана конструктивно-технологическая схема энергосберегающей сушильной машины для льнотресты (рис. 1 [5]), которая работает по конвективно-инфракрасному способу сушки, и, как предполагается, ее параметры будут соответствовать концептуальным условиям для разработки современных сушильных машин для лубяных культур. На рисунке 1 представлена конструктивно-технологическая схема энергосберегающей машины для сушки льносырья в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя (вид сверху).

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема энергосберегающей машины для сушки льносырья в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя (вид сверху)

Принцип работы машины. Слой льнотресты 1 после размотки рулона укладывается на транспортер машины 2. Вентилятором 4 по воздуховоду 5 воздух подается в сушильную камеру 3 последней секции и, например, со стороны вершин, направляется в слой. Нагретый

воздух, поступающий в камеру, может подготавливаться любым способом (паром, холодной водой или другими способами). Внутри сушильной камеры, по ее длине и ширине, над верхней ветвью транспортера на определенном расстоянии от льнотресты с определенным шагом установлены два ИК-нагревателя 6, которые дополнительно нагревают слой льнотресты, и агент сушки. Далее нагретый воздух, пройдя слой вдоль и поперек стеблей, удаляется из сушильной камеры последней секции по воздуховоду 7 вентилятором 8 и направляется в сушильную камеру предпоследней секции, в которой сушка слоя стеблей проходит при подаче теплоносителя с комлевой части. В остальном процесс сушки в сушильной камере предпоследней секции аналогичен процессу в последней секции. Далее цикл сушки повторяется в других секциях по вышеуказанной схеме при реверсивной подаче теплоносителя в льнотресту вентиляторами 9, 10, 11, 12, 13. Воздух сначала подается в вершины слоя, а затем в его комли, далее, пройдя все секции, удаляется на рециркуляцию вентилятором 13.

Для исследования указанной конструктивно-технологической схемы энергосберегающей сушильной машины разработана экспериментальная установка [5], имеющая один модуль машины, позволяющий исследовать процесс сушки тремя способами: конвективным, радиационным (ИК-сушка), их комбинацией в широком интервале варьирования параметров процесса.

Ранее исследовались воздушные потоки данной схемы сушки [6], однако параметры и режимы процесса сушки льнотресты по комбинированному конвективно-инфракрасному способу для неё не изучены, а значит, для разработки энергосберегающей сушильной машины необходимо продолжение исследований. Актуальность их объясняется также тем, что без решения этих вопросов невоз-

можно разработка машины, ее изготовление и эффективная эксплуатация.

Цель исследований. Обоснование параметров и режимов работы энергосберегающей сушильной машины для льнотресты в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя.

На данном этапе исследований для этого необходимо провести опыты по обоснованию параметров и режимов работы сушильного модуля по полному факторному эксперименту отдельно с ИК-сушкой, а также в комбинации с конвективной сушкой – сравнительные эксперименты, и изучить влияние температуры агента сушки на продолжительность процесса сушки на льнотресте.

Методика исследований. Для исследования определены 8 вариантов, отличающиеся режимами сушки (скоростью, расходом агента сушки) и сочетанием одновременного включения ИК-нагревателей с электрокалориферами (ЗК – включены три калорифера, ЗК + ИК – включены три калорифера и два ИК-нагревателя). Варианты режимов сушки при исследовании представлены в таблице.

Сочетание включения ИК-нагревателей и электрокалориферов	Номер режима	Средняя скорость агента сушки в сушильной камере, м/с	Расход агента сушки, м ³ /ч
ЗК	1	4,3	2200
	2	4,8	2500
	3	5,3	2800
	4	5,8	3100
ЗК + ИК	1	4,3	2200
	2	4,8	2500
	3	5,3	2800
	4	5,8	3100

Экспериментальная установка [5], которая имела три электрокалорифера и два ИК-нагревателя, прогревалась до тех пор, пока температура агента сушки не достигала 85–86 °С. Далее в сушильную камеру загружался искусственно увлажненный слой недолежалой льнотресты, выровненный по комлям и предваритель-

но увлажненный до абсолютной влажности 35 % и более. Через 2 мин сушки слой взвешивали и снова укладывали в камеру для дальнейшей сушки. Сушка проводилась от влажности примерно 35 % до влажности 10 % в течение 6 мин.

Повторность опытов в каждом варианте, указанном в таблице, 10-кратная. В итоге всего проведено 80 опытов при следующих параметрах: плотность загрузки льнотресты на транспортер 3 кг/м², толщина уложенного слоя в комлях 150 мм, в вершинах 60 мм, степень рециркуляции в режимах изменялась в интервале 1,5–1,7.

Для изучения влияния температуры агента сушки на продолжительность процесса установка прогревалась до тех пор, пока агент сушки не достигал температуры 65 °С. Далее проводился процесс сушки слоя недолежалой льнотресты с аналогичными параметрами.

По результатам строилась кривая сушки льнотресты для каждой повторности в варианте. Из этих зависимостей определяли время сушки льнотресты от влажности 30 до 14 % и от 25 до 14 %. Полученные значения обрабатывали статистически, т.е. определяли: среднее арифметическое, относительную гарантийную ошибку опытов (для определения достоверности опыта) и абсолютную гарантийную ошибку (для построения доверительного интервала). По результатам опытных сушек строили соответствующие зависимости времени сушки льнотресты от режимов процесса.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований процесса сушки по вариантам при полном факторном эксперименте при постоянной температуре агента сушки 85 °С, представлены на рисунке 2, а при различной температуре агента сушки – на рисунке 3.

Рисунок 2 – Время сушки льнотресты при различных режимах, но постоянной температуре агента сушки 85 °С:
а – влажность льнотресты от 30 до 14 %;
б – влажность льнотресты от 25 до 14 %

Рисунок 3 – Время сушки льнотресты при различной температуре агента сушки:
а – при 3К; б – при 3К + ИК

Результаты экспериментов при начальной температуре воздуха 85 °С показывают (рис. 2), что:

- при конвективной и конвективно-инфракрасной сушке при температуре воздуха 85 °С время сушки на недолежалой льнотресте не превышает 3 мин;
- сравнительные исследования применения 3К и 3К + ИК показали, что в большинстве режимов сушки ИК-нагреватели мощностью 2 кВт (два ИК-нагревателя по 1 кВт каждый) не влияют на продолжительность сушки (рис. 2), однако на режимах сушки 3 и 4, при расходе воздуха 2800 и 3100 м³/ч и влажности льнотресты от 30 до 14 %, ИК-нагреватели оказывают существенное влияние на время сушки (рис. 2а);

- повышая температуру агента сушки с 65 до 85 °С можно снизить время сушки в среднем на 0,8 мин для 3К (рис. 3а) и 0,53 мин для 3К + ИК (рис. 3б), это означает, что необходимы дополнительно 3–4 метра сушильной машины.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что температура агента сушки в интервале варьирования 65–85 °С влияет на время сушки, используя коэффициент детерминации, также определено, что время сушки на 40 % определяется температурой.

Выводы. Научно обоснованы параметры и режимы работы инновационной энергосберегающей сушильной машины для льнотресты льна-долгунца в конвективном и инфракрасном потоке теплоносителя.

Список литературы

1. Понажев В.П., Янышина А.А., Медведева О.В. Высокоэффективные методы и технологии семеноводства льна-долгунца – основа ускоренного внедрения новых сортов // Масличные культуры. Науч.-тех. бюл. ВНИИМК. – 2018. – Вып. 4 (176). – С. 31–36.
2. Олейник П.П., Кузьмина Т.К. Выбор рациональных решений реконструкции предприятий текстильной промышлен-

ности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. – Вып. 3 (369). – С. 11–16.

3. Новиков Э.В., Королева Е.Н., Безбабченко А.В., Ущановский И.В. Анализ эффективности первичной переработки льносырья в Российской Федерации // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – Вып. 2 (362). – С. 71–74.

4. Новиков Э.В., Королева Е.Н., Безбабченко А.В., Ущановский И.В. Качество льносырья, волокна и эффективность первичной переработки в льнокомплексе России // Машино-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе: сб. науч. тр. ФГБНУ ВНИИМЛ. – Тверь. Твер. гос. ун-т, 2014. – С. 198–203.

5. Безбабченко А.В., Новиков Э.В., Шевалдин Д.М., Коновалов В.В. Экспериментальная установка для изучения конвективной и инфракрасной сушки льносырья // Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. – С. 270–278.

6. Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Безбабченко А.В. Исследование перспективного способа продувки стеблей льна-долгунца, реализованного в инновационной сушильной машине для льнозаводов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2018. – Вып. 4 (44). – С. 58–64.

References

1. Ponazhev V.P., Yany`shina A.A., Medvedeva O.V. Vy`sokoe`ffektivny`e metody` i tehnologii semenovodstva l`nadolguncza – osnova uskorenного vnedreniya novy`x sortov // Maslichny`e kul`tury`. Nauchno-texnicheskij byulleten` Vserossijskogo nauchno-issledovatel`skogo instituta maslichny`x kul`tur. – 2018. – Vy`p. 4(176). – С. 31–36.

2. Olejnik P.P., Kuz`mina T.K. Vy`bor racional`ny`x reshenij rekonstrukcii predpriyatij tekstil`noj promy`shlennosti // Izv. vuzov. Texnologiya tekstil`noj promy`shlennosti. – 2019. – Vy`p. 3 (369). – С. 11–16.

3. Novikov E.V., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V., Ushhapovskij I.V. Analiz e`ffektivnosti pervichnoj pererabotki l`nosy`r`ya v Rossijskoj Federacii // Izv. vuzov. Texnologiya tekstil`noj promy`shlennosti. – 2016. – Vy`p. 2 (362). – С. 71–74.

4. Novikov E.V., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V., Ushhapovskij I.V. Kachestvo l`nosy`r`ya, volokna i e`ffektivnost` pervichnoj pererabotki v l`nokomplekse Rossii // Mashino-texnologicheskaya modernizaciya l`nyanogo agropromy`shlennogo kompleksa na innovacionnoj osnove. Sbornik nauchny`x trudov FGBNU «VNIIML». Tver`: Tver. Gos. un-t., 2014. – С. 198–203.

5. Bezbabchenko A.V., Novikov E.V., Shevaldin D.M., Konovalov V.V. E`ksperimental`naya ustanovka dlya izucheniya konvektivnoj i infrakrasnoj sushki l`nosy`r`ya // Innovacionny`e razrabotki proizvodstva i pererabotki lubyany`x kul`tur: materialy`. Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. – Tver`: Tver. gos. un-t., 2016. – С. 270–278.

6. Novikov E.V., Altuhova I.N., Bezbabchenko A.V. Issledovanie perspektivного sposоba produvki steblej l`nadolguncza, realizovannogo v innovacionnoj sushil`noj mashine dlya l`nozavodov // Vestnik Ul`yanovskoj GSXA. – 2018. – Vy`p. 4 (44). – С. 58–64.

Получено: 15.04.2019 Принято: 16.09.2019
Received: 15.04.2019 Accepted: 16.09.2019