

УДК 677.027
EDN JQBMPS

Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королёва Е. Н., Безбабченко А. В.
**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНВЕКТИВНОЙ И
ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ПЕНЬКИ ОДНОТИПНОЙ НЕОРИЕНТИРОВАННОЙ**
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»

Реферат. Применяемые сушильные машины для лубяных культур устарели морально и физически. В данной работе представлены результаты исследования перспективного процесса сушки спутанной массы ломаных стеблей технической конопли, основанные на принципе продольной продувки слоя тресты, для разработки инновационной энергосберегающей сушильной машины. Цель работы – научное обоснование параметров и режимов процесса сушки коноплесырья при различных режимах, а именно при разных температурах и скоростях воздуха, а также при разных сочетаниях включения электрокалориферов и инфракрасных электронагревателей. Определено, что при конвективной и конвективно-инфракрасной сушке время процесса при температуре воздуха 65 °С не превышает 3,1 минуты при влажности от 30 % до 14 % и не более 2,3 минуты при влажности от 25 % до 14 %, а при температуре воздуха 80 °С – 2,7 минут и 2,5 минут соответственно. Расход агента сушки в интервале 2800–3100 м³/ч при его скорости в камере 5,3–5,8 м/с не оказывает существенного влияния на время конвективной сушки рассматриваемого коноплесырья, а снижение расхода и скорости воздуха до 2200–2500 м³/ч и до 4,8 м/с приводит к существенному повышению времени процесса. Построены необходимые графики и регрессионные зависимости. На основании результатов исследований можно сделать следующие выводы: наиболее оптимальными являются режимы, при которых температура агента сушки не менее 65–80 °С, расход воздуха, подаваемого и циркулирующего в сушильной камере, не менее 3100 м³/ч (не более 5000 м³/ч), средняя скорость не менее 6 м/с (но не более 9–10 м/с). Температура агента сушки не менее 85 °С рекомендуется при высокой начальной влажности тресты 25–30 %, температура 65 °С – при влажности тресты 25 %.

Ключевые слова: конопля техническая, агент сушки, время сушки, расход и скорость воздуха, параметры и режимы работы, конвективная и конвективно-инфракрасная сушка.

Для цитирования: Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королёва Е. Н., Безбабченко А. В. Обоснование параметров и режимов работы конвективной и инфракрасной сушки технической конопли для производства пеньки одноптипной неориентированной // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 112–122. EDN: JQBMPS.

For citation: 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. No. 1(29). P. 112–122. EDN: JQBMPS.

Введение

Качественная первичная переработка спутанной массы ломаных стеблей технической конопли (далее тресты конопляной) является актуальной, так как эту культуру стратегического направления выращивают во многих странах мира [1–6].

Она является сырьем для производства многих современных продуктов потребления, используется в косметологии, медицине, строительстве, легкой, пищевой, военной промышленности [7–12].

Проведенные нами в 2018–2020 гг. исследования показали, что часто первичная переработка указанного коноплесырья в пеньку одностипную проходит при повышенной влажности, а значит, необходима её сушка до технологической влажности 12–15 %, которую обычно проводят в сушильных машинах непосредственно перед линией первичной переработки.

Ранее применяли сушильные машины для технической конопли в виде целых не ломаных (неразрушенных) стеблей марки СКП-8-12П [13]. Однако в настоящее время эта марка не является перспективной и на пенькозаводах не применяется из-за большого потребления насыщенного пара и электрической энергии. Кроме того, она металлоемкая, поэтому ее сняли с производства. Другие сушильные машины для тресты конопляной не разработаны, также отсутствуют исследования в этом направлении, что определяет актуальность исследований в этой области [14]. Необходима разработка подобной сушильной машины, но не по типу СКП-8-12П, а с помощью энергосберегающих технологий. В частности, такой технологией является сушка лубяных культур при продольной продувке тресты льна-долгунца и масличного льна (продувка слоя вдоль стеблей, лежащего горизонтально на транспортере) [15–28], которая реализована в энергосберегающей сушильной машине для льнотресты марки МС-1, работающей по конвективному способу (рисунок 1 [25–28]).

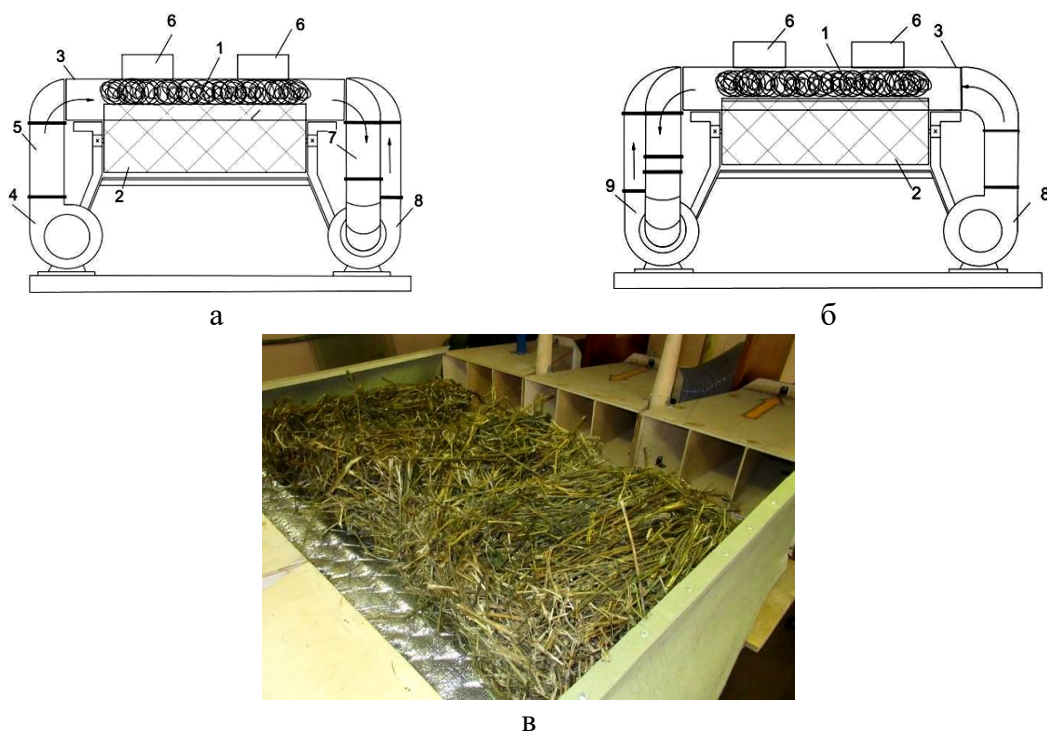


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема сушильной машины МС-1

Примечание. а – вид камеры сушки при продувке коноплесырья в правую сторону; б – вид камеры сушки при продувке коноплесырья в левую сторону; в – общий вид исследуемого коноплесырья в сушильной камере экспериментальной установки: 1 – слой из спутанных ломаных стеблей коноплесырья; 2 – транспортер; 3 – отдельные сушильные секции; 4, 8, 9 – вентиляторы; 5, 7 – воздухопроводы; 6 – ИК-нагреватели.

В работе [26] начаты исследования процесса сушки спутанной массы ломаных стеблей технической конопли, однако остался открытым вопрос о влиянии температуры агента сушки на удаление влаги из тресты.

Цель исследований – опытно-экспериментальное обоснование параметров и режимов процесса сушки коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей по схеме продольной продувки слоя.

Для достижения поставленной цели необходимо провести эксперименты по изучению сушки указанного коноплесырья (тресты конопляной) при различных режимах, определить рациональные параметры и режимы сушки, которые необходимо использовать для разработки соответствующей сушильной машины.

Представленные ниже результаты являются продолжением цикла исследований 2016–2021 гг. конвективно-инфракрасного способа сушки лубяных культур при продольной их продувке, которые уже проведены на тресте льна-долгунца и льна масличного, поэтому описанная ниже методика экспериментов существенно не отличается от ранее представленных в [15–28] исследований с льном масличным и долгунцом.

Материалы и методы исследований

Для экспериментов взята стеблевая масса коноплесырья с характеристиками, представленными в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества тресты конопляной (коноплесырья) в виде спутанной массы ломаных стеблей

Показатель		Значение
Длина ломаных спутанных стеблей, мм:	средняя	150
	минимальная	24
	максимальная	485
Диаметр ломаных спутанных стеблей, мм:	средний	3,4
	минимальный	2,5
	максимальный	5,5
Отделяемость волокна от древесины, ед.		4,6
Содержание волокна в массе, %		30
Разрывная нагрузка волокна в массе, кгс	средняя	9,3
	минимальная	4,5
	максимальная	22,0

Исследования проводили на экспериментальной установке [20], в сушильную камеру которой укладывали коноплесырье с плотностью 3 кг/м² (см. рисунок 1). Высота увлажненного коноплесырья, уложенного в сушильную камеру, составляла 210–240 мм, что больше высоты тресты льна-долгунца: 80–90 мм в вершинах и 170–180 мм в комлях и высоты слоя льна масличного – 170–180 мм. Далее эксперимент проводили аналогично методике, представленной в работе [25].

В ходе работы применяли конвективную и конвективно-инфракрасную сушку. Параметры агента сушки: температура $t_l = 65$ °С и 80 °С, скорость при входе в камеру 4,3–5,8 м/с с шагом 0,5 м/с (4 режима), его расход 2200–3100 м³/ч с шагом 300 м³/ч (4 режима). Конвективно-инфракрасная сушка отличалась от конвективной дополнительным применением двух ИК-нагревателей тепловой мощностью по 1 кВт каждый.

Относительная гарантийная ошибка не превышала 10 % при десятикратной повторности, что обеспечивало достоверность опытов.

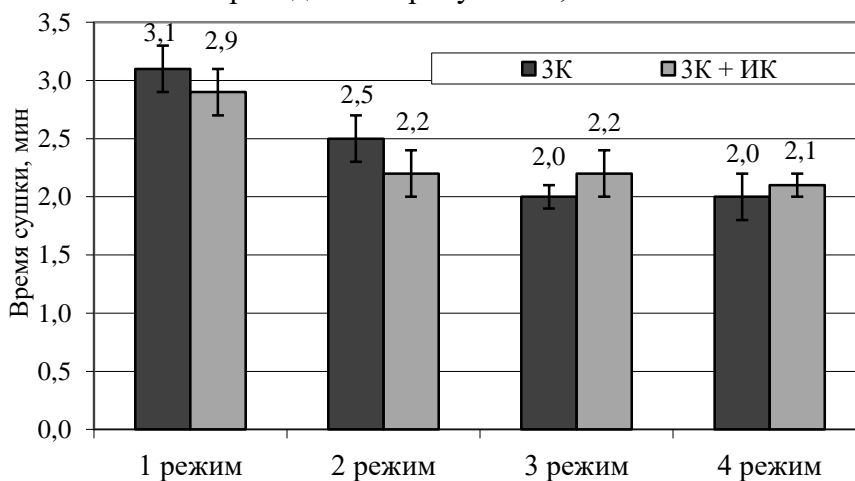
Повторность опытов в каждом режиме сушки десятикратная, показатели которых усредняли, вычерчивали отдельные и усредненные кривые сушки, по которым определяли время сушки коноплесырья. Кроме этого, для построения доверительных интервалов рассчитывали абсолютную гарантийную ошибку (таблицу 2).

Таблица 2 – Результаты статистической обработки продолжительности сушки

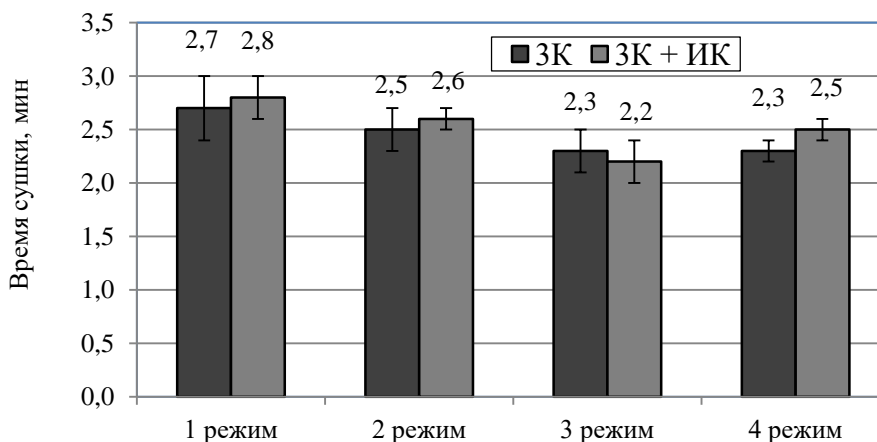
Режим	Конвективная сушка			Конвективно-инфракрасная сушка		
	среднее значение, мин	абсолютная ошибка, мин	относительная ошибка, %	среднее значение, мин	абсолютная ошибка, мин	относительная ошибка, %
при $t_l = 65^\circ\text{C}$						
1	3,1	0,2	5,6	2,9	0,2	7,2
2	2,5	0,2	7,5	2,2	0,2	7,0
3	2,0	0,1	2,4	2,2	0,2	7,0
4	2,0	0,2	8,1	2,1	0,1	6,1
при $t_l = 80^\circ\text{C}$						
1	2,7	0,3	9,5	2,8	0,2	8,5
2	2,5	0,2	6,4	2,6	0,1	5,7
3	2,3	0,2	9,7	2,2	0,2	8,2
4	2,3	0,1	5,3	2,5	0,1	4,9

Результаты и их обсуждение

Результаты опытов приведены на рисунках 2, 3.



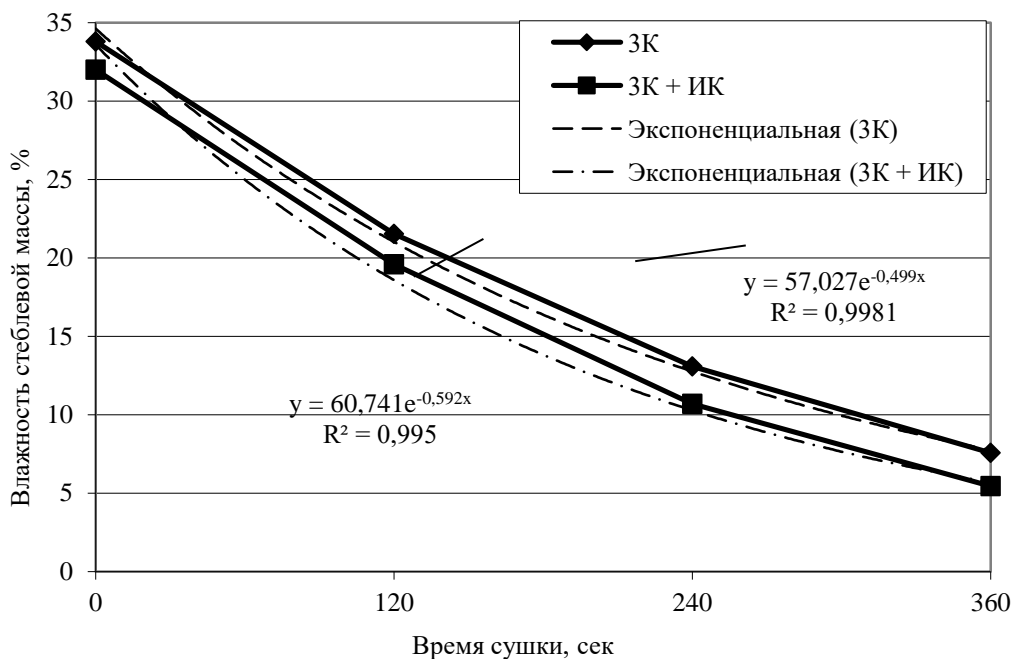
а



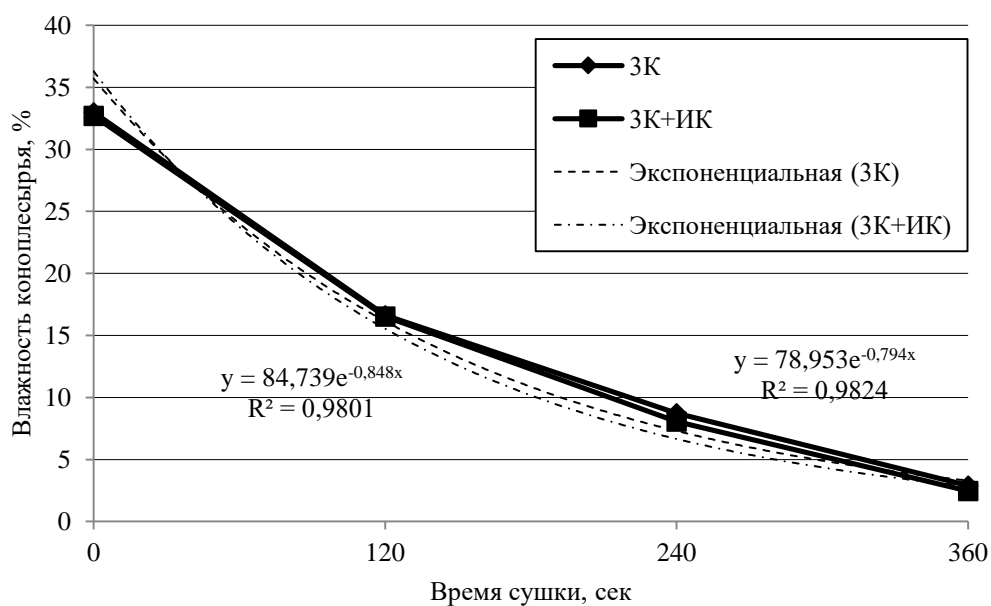
б

Рисунок 2 – Время сушки коноплесырья от 30 % до 14 %

Примечание. а – при $t_l = 65^\circ\text{C}$; б – при $t_l = 80^\circ\text{C}$



а



б

Примечание. а – при $t_1 = 65\text{ }^\circ\text{C}$; б – при $t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$

Рисунок 3 – Типовые кривые сушки коноплесья

Результаты опытных сушек показали, что:

– время сушки, также, как и при конвективной и конвективно-инфракрасной сушке конопли не превышает 3,1 минуты при $t_1 = 65\text{ }^\circ\text{C}$ и влажности от 30 % до 14 % (см. рисунок 2а) и не более 2,3 минуты – от 25 % до 14 % (на рисунках не представлено), при $t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$ – не более 2,7 минуты – от 30 % до 14 % (см. рисунок 2б) и не более 2,5 минут – от 25 % до 14 % (на рисунках не представлено), что в сравнении с $t_1 = 65\text{ }^\circ\text{C}$ меньше на 0,4–0,2 минуты;

– расход агента сушки от 2800 до 3100 м³/ч при скорости 5,3–5,8 м/с не влияет на время конвективной сушки рассматриваемого коноплесырья (см. рисунки 2а и 2б), а снижение расхода и скорости воздуха до 2200–2500 м³/ч и до 4,8 м/с соответственно приводит к существенному повышению времени процесса, поэтому для удаления влаги из коноплесырья данной структуры нужно применять режимы продувки 3 и 4 (таблица 2);

– ИК-нагреватели исследуемой тепловой мощности не влияют на время подсушки (см. рисунки 2а и 2б), а значит, если интенсифицировать процесс сушки, например, из-за повышенной влажности коноплесырья необходимо применять ИК-нагреватели большей мощности;

– влага из коноплесырья начинает удаляться сразу же на первых секундах сушки (рисунки 3а и 3б), то есть период прогрева отсутствует;

Рисунок 4 показывает, что на тресте конопляной исследуемой структуры повышение температуры агента сушки с 65 °С до 80 °С в каждом отдельно взятом режиме сушки не повлияло на продолжительность процесса, что следует из доверительных интервалов, которые пересекаются.

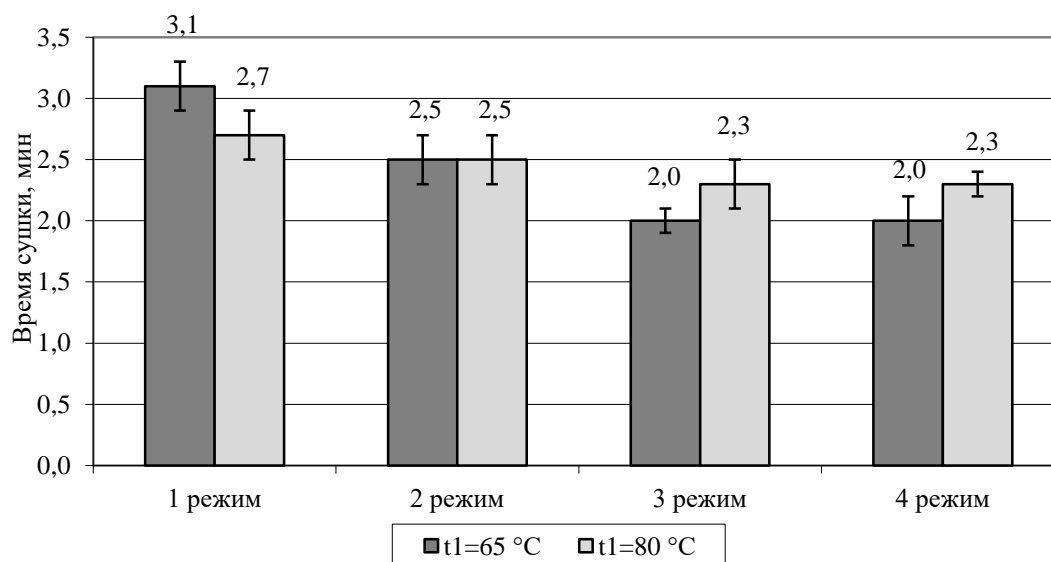


Рисунок 4 – Время сушки коноплесырья при различной начальной температуре агента сушки и условия 3К (влажность от 30 % до 14 %)

Следует заключить, что на продолжительность процесса оказывает влияние режим сушки – расход и средняя скорость агента сушки (рисунок 4). При $t_1 = 65$ °С режим сушки существенно влияет на продолжительность процесса.

По результатам исследований получены обобщающие аппроксимационные модели изменения влажности коноплесырья в зависимости от времени сушки для исследуемых режимов.

Первая имеет следующий вид:

$$W = 72,24e^{-0,711\tau}, \quad (1)$$

где τ – время подсушки, мин.

Модель (1) следует использовать при $t_1 = 62$ – 65 °С, его расхода 2200–3100 м³/ч и скорости 4–6 м/с.

Аналогичная зависимости (1) модель, но для $t_1 = 77-81$ °С при других неизменных значениях параметров воздуха имеет следующий вид:

$$W = 70,93e^{-0,695\tau}, \quad (2)$$

где W – влажность коноплесырья (тресты конопляной) до сушки, %;
 τ – время сушки, мин.

Обобщающая регрессионная зависимость, полученная на большом количестве опытов, при обработке в системе STATISTICA-6.0 имеет следующий вид:

$$\tau = 0,49 + 0,117W - 0,00076V + 0,0058t_1, \quad (3)$$

где τ – время сушки, мин;

W – начальная влажность коноплесырья (тресты конопляной), %, $W=25-30$ %;

V – расход агента сушки, м³/ч;

t_1 – температура агента сушки, °С.

Модель (3) справедлива для: начальной влажности коноплесырья $W=25-30$ %, до конечной влажности 14 %; расхода агента сушки 2200–3100 м³/ч; $t_1 = 64-81$ °С; скорости агента сушки от 4 до 6 м/с.

Коэффициент детерминации модели (3) составляет 0,84, что говорит о достаточной ее точности ходу рассматриваемого процесса сушки коноплесырья новой структуры.

В отличие от сушильной машины МС-1 [17, 18], разработанной ранее для льнотресты льна-долгунца и льна масличного, предполагаемая сушильная машина должна иметь основное отличие, высоту сушильной камеры 260 мм, а не 220 мм как было ранее.

Выводы

Получены математические модели процесса сушки спутанной массы ломаных стеблей тресты конопляной для перспективной сушильной машины, используя которые можно прогнозировать время сушки в зависимости от ее исходной начальной влажности, температуры и расхода агента сушки. Рекомендуются следующие режимы сушки тресты конопляной в сушильной машине: температура агента сушки не менее 65–80 °С, его расход, подаваемый и циркулирующий в сушильной камере, не менее 3100 м³/ч (не более 5000 м³/ч), средняя скорость не менее 6 м/с (но не более 9–10 м/с). Температура агента сушки не менее 85 °С рекомендуется при высокой начальной влажности льнотресты 25–30 %, температура 65 °С – при влажности тресты 25 %. Полученные данные следует использовать при разработке технического задания на проектирование опытного образца сушильной машины для тресты конопляной в линиях первичной переработки.

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

Литература

1. Пучков Е. М., Великанова И. В., Галкин А. В. Научно-технологическое и экономическое обоснование формирования системы машин для переработки льна // Аграрная наука. 2021. № 3. С. 101–104. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-346-3-101-104.
2. Грабовска Л., Пневска И. Перспективы выращивания промышленной конопли и применения конопляного сырья в ЕС и Польше // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства». Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. С. 17–22.
3. Морыганов А. П. Отечественное целлюлозное волокно – перспективное сырье для российской текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 4 (376). С. 44–49.

4. Пасічник П. К. Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства». Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. С. 3–17.
5. Примаков О. А. Дослідна станція луб'яних культур Інституту сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук України // Наукові нотатки. 2012. № 39. С. 163–167.
6. Immonen K., Lahtinen P., Isokangas P., Torvinen K. Potential of hemp in thermoplastic biocomposites – the effect of fibre structure // In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 1–11. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1_1.
7. Placet V., François C., Day A., Beaugrand J., Ouagne P. Industrial hemp transformation for composite applications: influence of processing parameters on the fibre properties // In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 13-25. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1_2.
8. Абдувохидов А., Кароматов И. Д., Хамроева А. Х. Перспективное лечебное растение конопля // Биология и интегративная медицина. 2016. № 6. С. 243–256.
9. Сакович Г. В., Будаева В. В., Корчагина А. А., Гисматулина Ю. А. Перспективы нитратов целлюлозы из нетрадиционного сырья для взрывчатых составов // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 259–268. DOI: 10.14258/jcrpm.2019014336.
10. Попов Р. А. Инновационные разработки и современные технические средства для уборки конопли посевной // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 150–163. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-150-163.
11. Щеглов Д. П., Шкретгий Т. А., Катаев Г. А., Ким С. В. Техническая конопля в качестве заполнителя для бетона // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 11(113). С. 88–90.
12. Лиходеевский А. В. К вопросу о возрождении незаслуженно забытых технологий: техническая конопля // Теория и практика мировой науки. 2021. № 3. С. 29–38.
13. Суметов В. А. Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов. Учебник для вузов. М.: Легкая индустрия, 1980. 336 с.
14. Грасмик К. И., Дусь Ю. П. Инновации в легкой промышленности: влияние экономического кризиса // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 4 (382). С. 5–9.
15. 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. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2019. Вып. 3 (179). С. 74–78. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-3-179-74-78.
16. Алтухова И. Н., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Экспериментальное обоснование режимов работы при конвективно-инфракрасной сушке тресты // Вестник УГСХА. 2019. Вып. 3(47). С. 6–11. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-6-11.
17. Носов А. Г., Киселев Н. В. Исследование массообмена при сушке льняной тресты высокой плотности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 6(354). С. 51–53.
18. Носов А. Г., Щербаков Д. С. О повышении эффективности процесса сушки льняной тресты в рулонах на машине СМР-3М2 // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 5(353). С. 28–32.
19. Киселев Н. В., Пашин Е. Л., Шаланина А. И. Моделирование процесса сушки льнотресты в машине СКП1-10ЛУ с учетом влияния неровноты слоя стеблей по толщине и ширине // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6 (366). С. 75–78.
20. Васильев Ю. В., Киселев Н. В., Смирнов А. М. Оценка технологической эффективности нового способа термовлажностной подготовки льняной тресты // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2011. № 5(334). С. 21–24.
21. Безбабченко А. В., Новиков Э. В., Шевалдин Д. М., Коновалов В. В. Экспериментальная установка для изучения конвективной и инфракрасной сушки льносырья // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные разработки производства и переработки лубяных культур». Тверь: Тверской государственный университет. 2016. С. 270–278.
22. Васильев Ю. В. Разработка энергосберегающей машины и способа термовлажностной подготовки тресты льна к механической обработке // Материалы научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВНИИ льна. Тверь: ВНИИЛ, 2010. С. 365–367.
23. Васильев Ю. В. Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты. Автореф. дисс. к.т.н. Кострома: ФГБОУ «Костромской государственный технологический университет», 2013. 16 с.
24. 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. № 4(61). С. 172–180. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14172.

25. Алтухова И. Н., Новиков Э. В., Королева Е. Н., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Обоснование параметров конвективно-инфракрасного способа подсушки льна масличного // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 2 (69). С. 19–28. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_2_19.
26. Новиков Э. В., Алтухова И. Н., Королева Е. Н., Шевалдин Д. М., Безбабченко А. В. Обоснование режимов работы конвективно-инфракрасной подсушки технической конопли // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 104–109. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp104-109.
27. Носов А. Г., Киселев Н. В. Определение проницаемости льняной тресты высокой плотности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 5 (353). С. 36–39.
28. Носов А. Г., Киселев Н. В. Об использовании рециркуляции воздуха при сушке льняной тресты в рулонах // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 3(345). С. 36–39.

References

1. Puchkov E. M., Velikanova I. V., Galkin A. V. Scientific, technological and economic justification of the machine system formation for flax processing // Agrarian science. 2021. No. 3. P. 101–104. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-346-3-101-104.
2. Grabovska L., Pnevskia I. Prospects for the cultivation of industrial hemp and the use of hemp raw materials in the EU and Poland // Materials of the International scientific-practical conference “Problems and Prospects of Flax and Hemp Growing Branches Development” Sumy: TD “Papyrus OOO” (Limited Liability Company). 2011. P.17–22.
3. Moryganov A. P. Domestic cellulose fibres – perspective raw material for the Russian textile industry // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2017. No. 4 (376). P. 44–49.
4. Pasichnyk P. K. Problems and prospects of flax and hemp growing development // Materials of the International scientific-practical conference “Problems and Prospects of Flax and Hemp Growing Branches Development” Sumy: TD “Papyrus OOO” (Limited Liability Company). 2011. P. 3–17.
5. Prymakov O. A. Research station of bast crops of the Institute of Agriculture of the Northeast of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine // Naukovi Notatky. 2012. No. 39. P. 163–167.
6. Immonen K., Lahtinen P., Isokangas P., Torvinen K. Potential of hemp in thermoplastic biocomposites – the effect of fibre structure// In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 1-11. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1_1.
7. Placet V., François C., Day A., Beaugrand J., Ouagne P. Industrial hemp transformation for composite applications: influence of processing parameters on the fibre properties // In book: Advances in Natural Fibre Composites. Springer International Publishing, 2018. P. 13–25. DOI: 10.1007/978-3-319-64641-1_2.
8. Abduvokhidov A., Karamatov I. D., Khamroeva A. H. Perspective medicinal plant hemp // Biology and Integrative Medicine. 2016. No. 6. P. 243–256.
9. Sakovich G. V., Budaeva V. V., Korchagina A. A., Khismatullina Yu. A. Prospects of cellulose nitrates from unconventional feedstocks for use in composite raw explosives // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of Plant Raw Materials). 2019. No. 1. P. 259–268. DOI: 10.14258/jcprm.2019014336.
10. Popov R. A. Innovative developments and modern technical means for seed hemp harvesting // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2021. No. 1(25). P. 150–163. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-150-163.
11. Shcheglov D. P., Shkrebtiy T. A., Kataev G. A., Kim S. V. Technical hemp as a filler for concrete // Science and Business: Development Ways. 2020. No. 11(113). P. 88–90.
12. Likhodeevsky A. V. On the question of the revival of undeservedly forgotten technologies: technical hemp // Theory and Practice of World Science. 2021. No. 3. P. 29–38.
13. Sumetov V. A. Drying and moistening of bast fiber materials. Textbook for universities. Moscow: Legkaya industriya, 1980. 336 p.
14. Grasmik K. I., Dus Yu. P. Light industry innovation: the impact of the economic crisis // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2013. No. 4 (382). P. 5–9.
15. Altukhova I. N., Novikov E. V., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. Reasoning of the operating modes of energy saving dryer for flax straw in convection and infrared flux of heat transfer fluid // Oil Crops. 2019. Vol. 3 (179). P. 74–78. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-3-179-74-78.
16. Altukhova I. N., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. Experimental substantiation of operating modes of convective infrared drying of flax straw // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2019. Vol. 3(47). P. 6–11. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-6-11.
17. Nosov A. G., Kiselev N. V. The studies of mass exchange in the drying process of flax stock layer with high density // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2014. No. 6(354). P. 51–53.
18. Nosov A. G., Shcherbakov D. S. About increase of efficiency of linen stalks rolls drying process in machine SLR-3M2 // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2014. No. 5(353). P. 28–32.

19. Kiselev N. V., Pashin E. L., Shalagina A. I. Modeling of the drying process of flax stock with irregular thickness and width of the layer on SKP1-10LU drying machine // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2016. No. 6 (366). P. 75–78.
20. Vasiliev Yu. V., Kiselev N. V., Smirnov A. M. Evaluation of the technological effectiveness of a new method of thermal and moisture preparation of flax straw // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2011. № 5(334). P. 21–24.
21. Bezbabchenko A. V., Novikov E. V., Shevaldin D. M., Konovalov V. V. Experimental machine for studying convective and infrared drying of flax raw materials // Materials of the International Scientific and Practical Conference “Innovative developments in the production and processing of bast crops”. Tver: Tver State University. 2016. P. 270–278.
22. Vasiliev Yu. V. Development of an energy-saving machine and a method of thermal and moisture preparation of flax straw for mechanical processing // Materials of the scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Flax Research Institute (VNIL). Tver: VNIL, 2010. P. 365–367.
23. Vasiliev Yu. V. Improvement of technology and equipment for drying linen straw. Authors' abstract ... Cand. (Tech.) Sc. Kostroma: FSBEI “Kostroma State Technological University”, 2013. 16 p.
24. 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. No. 4 (61). P. 172–180. DOI: 10.24411/2078-1318-2020-14172.
25. Altukhova I. N., Novikov E. V., Koroleva E. N., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. Justification of the parameters of the convective infrared method of predrying of crown flax stalks // Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2021. Vol. 14. No. 2 (69). P. 19–28. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_2_19.
26. Novikov E. V., Altukhova I. N., Koroleva E. N., Shevaldin D. M., Bezbabchenko A. V. S. Justification of operating modes of convective-infrared drying of technical hemp // The Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 8. P. 104–109. DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp104-109.
27. Nosov A. G., Kiselev N. V. Research of the flax stalks permeability at high density // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2014. No. 5 (353). P. 36–39.
28. Nosov A. G., Kiselev N. V. About the recirculation of hot air in the drying process of flax stock rolls // Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology. 2013. No. 3(345). P. 36–39.

UDC 677.027

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**

Summary. Machines, which are used today for drying bast crops, are both morally and physically obsolete. This paper presents the results of a study of a promising process of drying the tangled mass of broken stems of technical hemp based on the principle of longitudinal purging of hemp straw layer to develop an innovative energy-saving drying machine. The aim of the work is the scientific substantiation of the parameters and modes of hemp raw materials drying process under different conditions, namely at different temperatures and air speeds, as well as at various combinations of switching electric air heaters and infrared electric heaters on. The research conducted specified that the time of convective/convective-infrared drying at an air temperature of 65 °C did not exceed 3.1 (raw material moisture content – from 30 % to 14 %) or 2.3 minutes (raw material moisture content – from 25 % to 14 %); at 80 °C – 2.7 and 2.5 minutes, respectively. The consumption of the drying agent in the range of 2,800–3,100 m³/h at 5.3–5.8 m/s in the chamber does not significantly affect the time of convective drying of the studied hemp materials. A decrease in the flow rate and air velocity up to 2,200–2,500 m³/h and 4.8 m/s significantly lengthens the drying process time. The necessary graphs and regression dependencies are constructed. Based on the research results, the following modes are optimal: temperature of the drying agent is not less than 65–80 °C; air flow rate supplied and circulating in the drying chamber is not less than 3,100 m³/h (not more than

5,000 m³/h); average speed is not less than 6 m/s (but not more than 9–10 m/s). When initial hemp straw moisture content is high (25–30 %), we recommend keeping the temperature of the drying agent at the level of 85 °C; when hemp straw moisture content is 25 % – at the level of 65 °C.

Keywords: *technical hemp, drying agent, drying time, air flow and velocity, parameters and operating modes, convective and convective-infrared drying.*

Новиков Эдуард Валерьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: edik1@kmtn.ru.

Алтухова Ирина Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: i.altuhova@fncl.ru.

Королева Евгения Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: e.koroleva@fncl.ru.

Безбабченко Александр Владиславович, старший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»; 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: a.bezbabchenko@fncl.ru.

Novikov Eduard Valeryevich, Cand. Sc. (Tech.), head of the Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: edik1@kmtn.ru.

Altukhova Irina Nikolaevna, senior researcher, Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: i.altuhova@fncl.ru.

Koroleva Evgeniya Nikolaevna, senior researcher, Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: e.koroleva@fncl.ru.

Bezbabchenko Aleksandr Vladislavovich, senior researcher, Laboratory of bast crops processing, FSBSI “Federal Research Center of Bast Crops”; 17/56, Komsomolsky Prospekt, Tver, 170041, Russia; e-mail: a.bezbabchenko@fncl.ru.

Дата поступления в редакцию – 27.01.2022.

Дата принятия к печати – 14.02.2022.