DOI 10.28983/asj.y2021i8pp104-109 УДК 677.027

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНВЕКТИВНО-ИНФРАКРАСНОЙ ПОДСУШКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ

НОВИКОВ Эдуард Валерьевич, *Федеральный научный центр лубяных культур*
АЛТУХОВА Ирина Николаевна, *Федеральный научный центр лубяных культур*
КОРОЛЁВА Евгения Николаевна, *Федеральный научный центр лубяных культур*
ШЕВАЛДИН Дмитрий Михайлович, *Федеральный научный центр лубяных культур*
БЕЗБАБЧЕНКО Александр Владиславович, *Федеральный научный центр лубяных культур*

В статье представлены исследования перспективного процесса подсушки спутанной массы стеблей неполной длины технической конопли на экспериментальной установке при различных режимах. Обоснованы параметры и режимы подсушки конопли конвективным и конвективно-инфракрасным способами. Определено время сушки стеблевой массы конопли при различных режимах, построены необходимые графики и регрессионные зависимости, сформулированы практические рекомендации.

Введение. Первичная переработка спутанной массы стеблей неполной длины технической конопли является актуальной задачей, т.к. данная культура производится не только в различных регионах РФ (рис. 1), но и во многих странах мира [4–7, 12–14, 17–20].

Проведенные нами исследования в 2018–2020 гг. показали, что часто первичная переработка указанного коноплесырья в пеньку однотипную проходит при повышенной влажности, значение которой может варьировать в широком интервале (14–58 %). Очевидно, что перед этой переработкой необходима его подсушка до технологической влажности 12–15 %, которая обычно проводится в сушильных машинах непосредственно перед линией переработки. Ранее применялись сушильные машины для технической конопли в виде целых неполоманных стеблей марки СКП-8-12П [16]. Однако в настоящее время такого сырья практически не существует, вместо него в переработке используется спутанная масса поломанных стеблей технической конопли, а сама машина уже не перспективна.

Аналитический обзор сушильных машин для указанного коноплесырья показал, что таких машин в настоящее время не существует и, как следствие, в России и за рубежом отсутствуют исследования в этом направлении, поэтому оно является весьма актуальным.

По нашему мнению, необходима разработка подобной сушильной машины, но не по типу СКП-8-12П, а используя энергосберегающие технологии. В частности, к такой технологической схеме относится подсушка лубяных культур при продольной продувке тресты льна-долгунца и масличного льна, которая реализована в энергосберегающей сушильной машине для льнотресты, работающей по конвективному способу [1, 2, 3, 8–11, 15] (рис. 2).

Цель работы – научное обоснование параметров и режимов процесса подсушки коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей по схеме продольной продувки слоя.

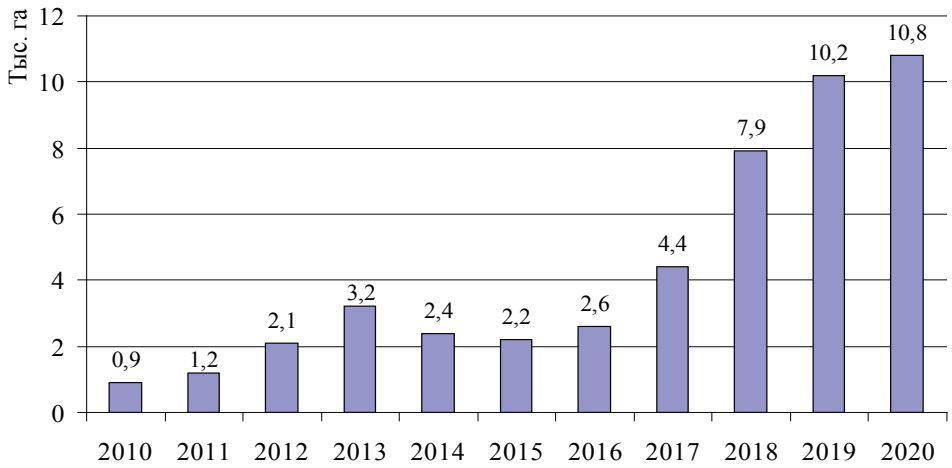
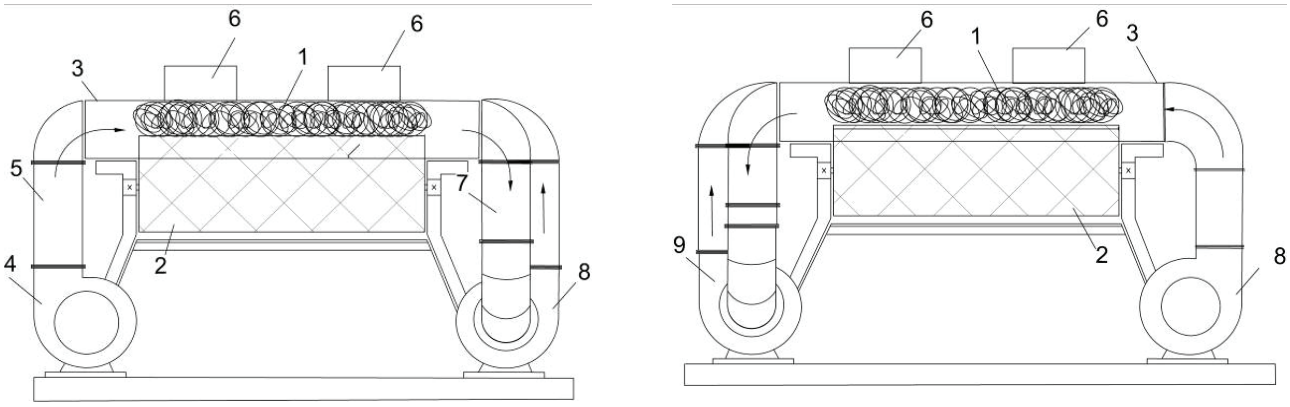


Рис. 1. Посевные площади технической конопли в Российской Федерации (https://rosstat.gov.ru/)



а *б*

Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема исследуемой конвективно-инфракрасной подсушки коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей: а – схема камеры с секцией при движении воздуха слева направо; б – схема камеры с движением воздуха справа налево: 1 – слой коноплесырья; 2 – конвейер; 3 – камера сушки; 4, 8, 9 – устройства для подачи горячего воздуха; 5, 7 –шланги гибкие; 6 – ИК-нагреватели

Для достижения поставленной цели необходимо провести экспериментальные исследования процесса подсушки указанного коноплесырья при различных режимах, определить рациональные параметры и режимы сушки, которые необходимо использовать для разработки соответствующей сушильной машины.

Представленные ниже результаты являются продолжением цикла исследований 2016–2020 гг. конвективно-инфракрасного способа сушки лубяных культур (тресты льна-долгунца, льна масличного и технической конопли) при продольной их продувке, поэтому описанная ниже методика экспериментов не отличается от проведенных ранее исследований с льном масличным и долгунцом.

Методика исследований. Для экспериментов взята стеблевая масса коноплесырья с характеристиками, представленными в табл. 1.

Исследования проводили на экспериментальной установке [9], которая вместе с коноплесырьем представлена на рис. 3.

Таблица 1

Показатели качества технической конопли (коноплесырья)

Показатель качества	Значение
Длина поломанных спутанных стеблей, мм:	
средняя	150
минимальная	24
максимальная	485
Диаметр 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

Примечание. Нормированная влажность стеблей конопли при хранении должна быть до 25 %. Их технологическая влажность для первичной переработки в однотипную пеньку должна быть 12–15 %.

а *б*

Рис. 3. Вид стеблевой массы высушиваемой технической конопли в сушильной камере: а – общий вид коноплесырья в сушильной камере; б – вид со стороны загрузки

Сначала установка прогревалась в течение 10–15 мин, затем в сушильную камеру загружалась увлажненная до влажности 33–36 % коноплесырье с плотностью 3 кг/м² (см. рис. 3, а, б).

Через каждые 2 мин сушки слой взвешивали и снова укладывали в камеру для дальнейшей сушки. Каждые 20 с с помощью жидкостных термометров фиксировали следующие температуры: агента подсушки при поступлении в последнюю секцию сушильной камеры t_1; отработанного воздуха t_2; смеси наружного и рециркуляционного воздуха в камере смешивания $t_{см}$. Кроме того, аспирационным психрометром замерялась относительная влажность агента сушки. Подсушку проводили в десятикратной повторности при начальной температуре воздуха 65 °С, на различных режимах (различных скоростях и расходах агента сушки), а также при двух условиях: включении только трех электрокалориферов (3К); одновременном включении трех электрокалориферов и инфракрасных нагревателей (3К+ИК).

Условия экспериментов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Условия исследований подсушки стеблевой массы коноплесырья

Условия	Номер режима	Средняя скорость агента подсушки в сушильной камере, м/с	Расход агента подсушки, м³/ч
3К* (конвективная сушка)	1	4,3	2200
	2	4,8	2500
	3	5,3	2800
	4	5,8	3100
3К + ИК* (конвективно-инфракрасная сушка)	1	4,3	2200
	2	4,8	2500
	3	5,3	2800
	4	5,8	3100

*3К – три калорифера, 3К + ИК – три калорифера + + два ИК-нагревателя.

Достоверность проведенных опытов была удовлетворительной, т.к. относительная гарантийная ошибка опытов не превышала 10 % при десятикратной повторности.

По результатам 80 опытных сушек строили 80 кривых подсушки, а также графики изменения температур воздуха в процессе. Из первых определяли время подсушки при снижении влажности стеблевой массы от 30 до 14 % и от 25 до 14 %. Кроме этого, для определения достоверности опытов экспериментальные данные проверяли на относительную гарантийную ошибку, а для построения доверительных интервалов рассчитывали абсолютную гарантийную ошибку.

Результаты исследований. Высота увлажненного коноплесырья, уложенного в сушильную камеру, составляла 210–240 мм, что больше высоты тресты льна-долгунца, у которой она 80–90 мм в вершинах и 170–180 мм в комлях и высоты слоя льна масличного – 170–180 мм. Другие результаты исследований процесса подсушки технической конопли представлены на рис. 4–6.

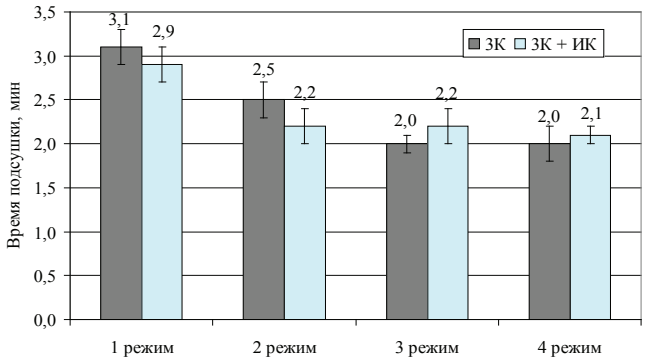
Результаты опытных сушек показали следующее.

При конвективной и конвективно-инфракрасной подсушке коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей время подсушки в целом не превышает 3,5 мин при влажности от 30 до 14 % (см. рис. 4, а) и не более 2,5 мин при влажности от 25 до 14 % (см. рис. 4, б).

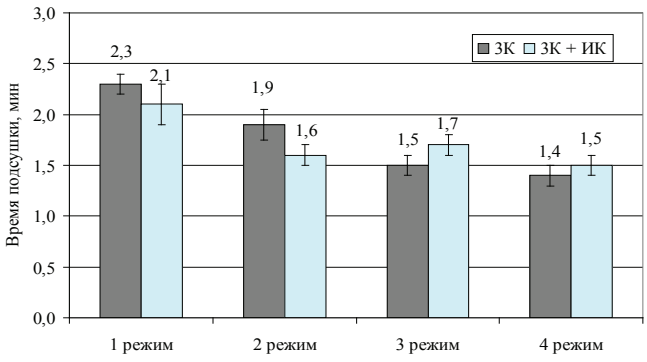
Расход агента подсушки в интервале 2800–3100 м³/ч при его скорости в камере 5,3–5,8 м/с не оказывает существенного влияния на время конвективной подсушки рассматриваемого коноплесырья (см. рис. 4, а, б), а снижение расхода и скорости воздуха до 2200–2500 м³/ч и до 4,8 м/с приводит к существенному повышению времени процесса, поэтому для удаления влаги из коноплесырья данной структуры нужно применять режимы продувки 3 и 4 (см. табл. 2).

На всех режимах подсушки ИК-нагреватели суммарной мощностью 2 кВт не влияют на время подсушки (см. рис. 4, а, б).

Период прогрева материала отсутствует (см. рис. 5, а), это значит, что испарение влаги из него начинается сразу же при поступлении ее под поток воздуха.

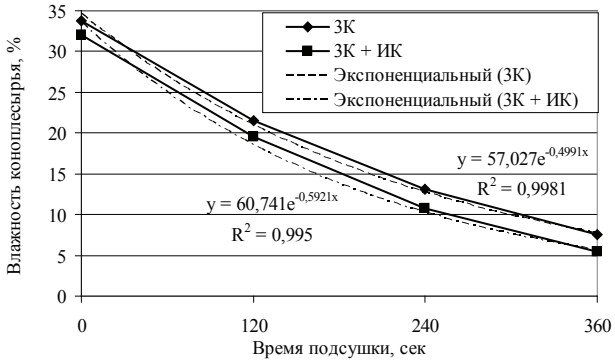


а

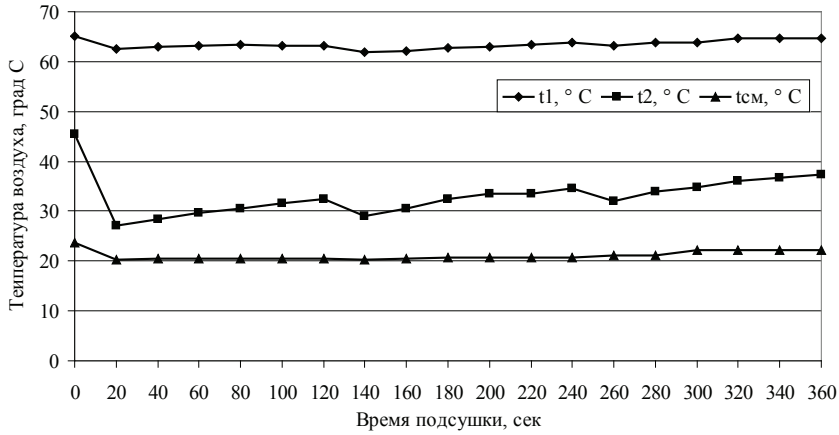


б

Рис. 4. Время подсушки стеблевой массы коноплесырья: а – влажность коноплесырья от 30 до 14 %; б – влажность коноплесырья от 25 до 14 %



а



б

Рис. 5. Типовая кривая сушки коноплесырья и изменение температуры воздуха в процессе подсушки: а – кривая подсушки; б – график изменения температур

Температура агента подсушки в процессе существенно не изменяется от значения 65 °С, т.е. ее интервал составляет 64–68 °С при относительной влажности 5–9 % (см. рис. 5, б), температура отработанного воздуха существенно снижается в первые 20 с в среднем на 18 °С, а затем стабилизируется и в среднем составляет 37–44 °С, температура смеси наружного и рециркуляционного воздуха в камере смешивания в отдельно взятом режиме изменяется незначительно, не более чем на 3–4 °С.

Температура агента, отработанного воздуха и смеси его в камере смешивания при конвективной и конвективно-инфракрасной подсушке в отдельно взятом режиме изменяется не более чем на 4–5 °С (см. рис. 6);

По результатам представленных исследований получена обобщающая аппроксимационная модель изменения влажности коноплесырья от времени подсушки для исследуемых режимов

$$W = 72{,}24e^{-0{,}7112\tau}, \qquad (1)$$

где W – влажность коноплесырья до подсушки, %; τ – время подсушки, мин.

Модель (1) справедлива для температуры агента сушки 62–65 °С, расхода 2200–3100 м³/ч, средней скорости продувки коноплесырья в су-

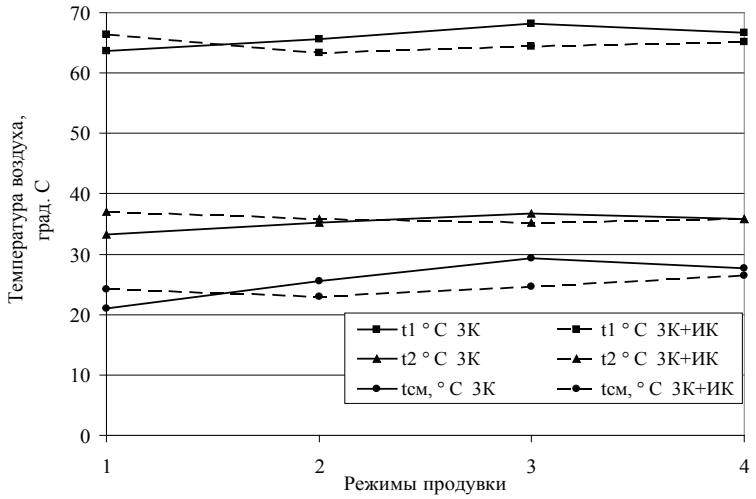


Рис. 6. Изменение температур воздуха в процессе подсушки

шильной камере 4–6 м/с, плотности загрузки в его камеру 3 кг/м^2.

Используя весь массив экспериментальных данных из 80 опытных сушек, получена регрессионная зависимость, которая с высокой степенью точности отражает влияние начальной влажности льнотресты и расхода агента подсушки на время процесса в минутах, она построена в системе STATISTICA-6.0 и имеет следующий вид:

$$\tau = 1{,}42 + 0{,}125W - 0{,}001V, \qquad (2)$$

где W – начальная влажность коноплесырья, %; V – расход агента подсушки, м^3/ч.

Модель (2) справедлива для тех же значений температур, расходов и скоростей воздуха, что и зависимость (1).

Анализ зависимости (2) в системе STATISTICA показал, что ее коэффициент детерминации составляет 0,95, а значит, 95 % изменений процесса она отражает, поэтому, используя модель (2), можно рассчитать время подсушки, по которой устанавливают необходимую скорость конвейера предполагаемой сушильной машины, тем самым, обеспечив технологическую влажность коноплесырья для эффективного производства однотипного неориентированного волокна.

Заключение. Впервые научно обоснованы параметры и режимы работы конвективной и комбинированной подсушки коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей, которые необходимо учитывать при разработке конструкции новой сушильной машины.

В отличие от льна-долгунца и масличного льна для коноплесырья рассматриваемой структуры следует применять сушильную камеру высотой 240–250 мм при плотности загрузки 3 кг/м^2.

Для подсушки коноплесырья при температуре воздуха 64–68 °С необходимо устанавливать следующие режимы процесса: скорость воздуха в камере 5–6 м/с, его объемным расходом не менее 2800 м^3/ч, время подсушки при этом от влажности 30 до 14 % составит не более 2,5 мин.

Как и при подсушке тресты льна-долгунца, льна масличного, так и коноплесырья в виде спутанной массы поломанных стеблей одновременное использование трех калориферов и двух ИК-нагревателей (последних общей тепловой мощностью 2 кВт) не оказывает влияния на продолжительность процесса, что говорит о необходимости увеличения мощности ИК-нагревателей и продолжении исследований в данном направлении.

Получены модели, связывающие время подсушки с влажностью коноплесырья и расход воздуха.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания № 0477-2019-0005 Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр лубяных культур».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.

2. *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.

3. *Алтухова И.Н., Новиков Э.В., Безбабченко А.В., Шевалдин Д.М., Королева Е.Н.* Экспериментальное обоснование режимов работы конвективно-инфракрасной сушки стеблевой массы масличного льна // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – Вып. 1 (181), 2020. – С. 88–93.

4. *Баланюк Н.П.* Конопля глазами тех, кто ее выращивает и перерабатывает // Вестник Текстилегпрома. – 2019. – С. 54–57.

5. *Басова Н.В., Новиков Э.В., Ущаповский И.В., Безбабченко А.В.* О коноплеводстве и технико-экономический анализ линий для переработки промышленной конопли в однотипное волокно // Известия вузов «Технология текстильной промышленности». – 2019. – № 2(380). – С. 58–63.

6. *Басова Н.В., Новиков Э.В., Безбабченко А.В., Хомитов А.С., Поселеннов Д.Д.* Схема переработки технической конопли в однотипную пеньку // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – № 1(57). – С. 63–67.

7. *Басова Н.В., Новиков Э.В., Безбабченко А.В.* Анализ линий переработки технической конопли // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 4(33). – С. 54–61.

8. *Безбабченко А.В., Чекренева Т.П., Новиков Э.В., Коновалов В.В.* Технологические модули для сушки льносырья // Инновационные разработки для производства льна: материалы Междунар. науч.-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ (14–15 мая 2015). ВНИИМЛ. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2015. – С. 208–215.

9. *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.

10. *Васильев Ю.В.* Разработка энергосберегающей машины и способа термовлажностной подготовки тресты льна к механической обработке // Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ВНИИ льна. – Тверь, ВНИИЛ, 2010. – С. 365–367.

11. *Васильев Ю.В.* Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты: автореф. дис. .... канд. техн. наук. – Кострома, 2013. – 16 с.

12. *Коропченко С.П., Белоусов А.И.* Инновационный подход к переработке стеблей конопли // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» (Минск, 18–20 окт. 2017 г.) / редкол.: П.П. Казакевич (гл. ред.), Л. Ж. Кострома. – Минск: Беларуская навука, 2017. – С. 196–199.

13. *Лукьяненко П.В.* Составляющие рулона конопли из тресты осеннего и весеннего приготовления, полученной после уборки семян зерноуборочным комбайном // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 113–117.

14. *Морыганов А.П.* Отечественное целлюлозное волокно – перспективное сырье для российской текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 4(376). – С. 44–49.

15. *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(174). – 2018. – С. 58–64.

16. *Суметов В.А.* Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов: учебник для вузов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 336 с.

17. *Грабовска Л., Пневска И.* Перспективы выращивания промышленной конопли и применения конопляного сырья в ЕС и Польше // Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства. Матеріали міжнар. наук. практ. конф. (Глухів, 10–12 лют. 2009 р). М-во аграр. Політики та продовольства, НААН [та ін.]. – Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. – С. 17–22.

18. *Лук'яненко П.В.* Комплексна економічна оцінка збирання та переробки трести конопель, отриманої за новою технологією // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". – Луцьк, 2012. – Випуск № 39. – С. 97–101.

19. *Пасічник П.К.* Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства // Проблеми і перспективи розвитку галузей льонарства та коноплярства. Матеріали міжнар. наук. практ. конф. (Глухів, 10-12 лют. 2009 р). М-во аграр. Політики та продовольства, НААН [та ін.]. – Суми: ТОВ «ТД «Папірус», 2011. – С. 3–17.

20. *Примаков О.А.* Дослінда станція луб'яних культур Інституту сільского господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук України // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". – Луцьк, 2012 – Випуск № 39. – С. 163–167.

Новиков Эдуард Валерьевич, *канд. тех. наук, доцент, зав. лабораторией «Переработка лубяных культур», Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

Алтухова Ирина Николаевна, *старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур», Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

Королева Евгения Николаевна, *старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур», Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

Шевалдин Дмитрий Михайлович, *старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур», Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

Безбабченко Александр Владиславович, *старший научный сотрудник лаборатории «Переработка лубяных культур», Федеральный научный центр лубяных культур. Россия.*

170041, г. Тверь, Комсомольский просп., 17/56.
Тел.: (4822) 41-61-10.

Ключевые слова: *конопля техническая; спутанная масса стеблей неполной длины; агент подсушки; время подсушки; расход и скорость воздуха; параметры и режимы работы; конвективная и конвективно-инфракрасная подсушка.*

JUSTIFICATION OF OPERATING MODES OF CONVECTIVE-INFRARED DRYING OF TECHNICAL HEMP

Novikov Eduard Valerievich, *Candidate of Technical Sciences, Federal Scientific Center for Fiber Crops. Russia.*

Altukhova Irina Nikolaevna, *Senior Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops. Russia.*

Koroleva Evgeniya Nikolaevna, *Senior Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops. Russia.*

Schevaldin Dmitrii Michailovich, *Senior Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops. Russia.*

Bezbabchenko Aleksandr Vladislavovich, *Senior Researcher, Federal Scientific Center for Fiber Crops. Russia.*

Keywords: *technical hemp; tangled mass of stems of incomplete length; drying agent; drying time; air flow and speed; parameters and operating modes; convective and convective-infrared drying.*

For the first time, the article presents studies of the promising process of drying the tangled mass of stems of incomplete length of technical hemp on an experimental setup under various modes. The parameters and modes of drying hemp by convective and convective-infrared methods are justified. The drying time of the hemp stem mass under different regimes is determined, the necessary graphs and regression dependencies are constructed, and practical recommendations are formulated.