

УДК 677.11/ 027.162

ПРЕДПОСЫЛКИ К РАЗРАБОТКЕ НОВОЙ СУШИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ

Пашин Е.Л.

Костромской государственный технологический университет

Существующие сушильные машины для тресты льна металлоёмки и не эффективно по использованию тепла. Предложено сушку по длине стеблей следует осуществлять с учетом их последующей механической обработки. Перемещение теплоносителя следует осуществлять вдоль стеблей при исключении свободных от тресты пространств. Новая сушильная машина должна иметь ограниченную сверху и снизу камеру сушки из теплозащитных материалов, без внешней камеры. Теплоноситель в разных зонах по длине машины должен перемещаться реверсивно.

В результате изменения экономических основ производства и переработки льна в условиях рыночных отношений существенным образом изменились ранее применяемые в условиях СССР технологии в льняном комплексе. Сокращение ручного труда, рост цен на энергоресурсы и увеличение налоговых и других отчислений привели к прекращению производства моченцовой тресты и внедрению интенсивных технологий росяной мочки и уборки льна, что повлекло изменение структуры и качества льняного сырья, поступающего на льнозаводы. В итоге существенно увеличилась неровнота свойств тресты по длине стеблей, степени вылежки и влажности [1].

Эти изменения привели к негативным последствиям переработки сырья на льнозаводах. Одним из таких следствий явились результаты термовлажностной подготовки стеблей тресты перед её переработкой на мяльно-трепальном агрегате (МТА). Неудовлетворение вызывало использование металлоёмких и энергозатратных сушильных машин, которые не обеспечивали эффективную сушку слоя льняной тресты,

сформированного из рулонов и имеющих системные изменения длины стеблей.

Существующие сушильные машины для стланцевой льняной тресты, реализуют процесс сушки по схеме, указанной на рисунке 1. По результатам исследований, проведенных в КГТУ установлена повышенная вариация длины стеблей в ленте, поступающей в сушильную машину. Участки стеблевой ленты могут иметь ширину от 0,3 – 0,5 до одного метра. Это приводит к нерациональному заполнению поверхности сетчатого транспортера сушильной машины. Степень заполнения в среднем составляет 70-80% и колеблется в пределах 40 – 90%. Поэтому при ширине транспортера 1,5 м горячий воздух устремляется в свободные от стеблей участки его поверхности, что является одной из важнейших причин снижения эффективности сушки [2, 3].

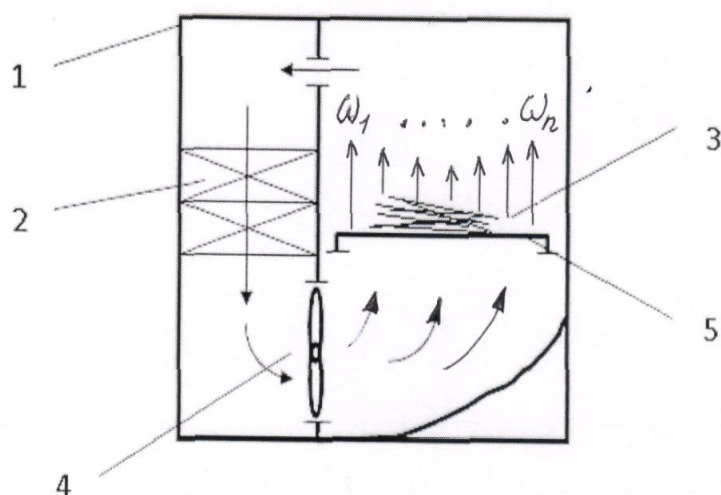


Рис. 1. Схема поперечного сечения сушильной машины с высушиваемым слоем стеблей (1-сушильная камера, 2-калориферы, 3-слой тресты, 4-вентилятор, 5-сетчатый транспортер)

С учетом такого положения были начаты изыскания направлений совершенствования машинных технологий сушки льняного сырья. На начальных этапах этой деятельностью занялись сотрудники Костромского технологического института, которые предложили вариант модернизации сушильной камеры применяемой на практике сушильной машины [4].

Далее в этом направлении стали работать профильные институты Россельхозакадемии. В тот период приоритетными явились разработки

Всероссийского научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации льноводства (ВНИПТИМЛ). Его сотрудниками в 2005 году был предложен вариант решения по возможному повышению эффективности сушки с использованием типовой сушильной машины. Его суть изложена в предложенном патенте на изобретение [5]. Согласно его стебли тресты предлагалось сушить вертикально при их прохождении между ограничителями потока теплоносителя (рис.2). Принципиальной новизной явилось перемещение теплоносителя вдоль стеблей.

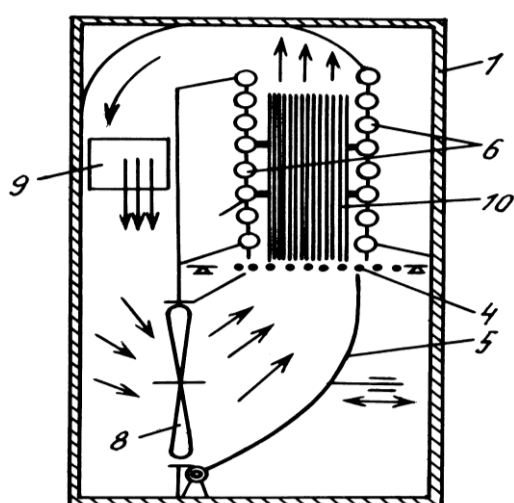


Рис. 2. Предложенная сотрудниками ВНИПТИМЛ схема сушильной камеры (1-теплоизоляционная камера, 4-транспортер, 5- направляющая, 6-ограничители для перемещения теплоносителя, 8-вентилятор, 9-калорифер, 10-вертикально расположенные стебли)

При обсуждениях варианта сушки по решению ВНИПТИМЛ во Всероссийском НИИ по переработке лубяных культур (ВНИИЛК, г. Кострома) был принят во внимание известный аналог сушки стеблей конопли в сушильной установке СК (рис. 3а), предложенной в [6] и используемой в настоящее время при оценке качества конопляной соломы по ГОСТ 27024-86 «Солома конопляная. Технические условия» [7, п. 3.3.2]. Согласно этого аналога, стебли сушат, располагая их не вертикально, а в горизонтальной плоскости, обеспечивая при этом ускорение сушки за счёт перемещение теплоносителя вдоль стеблей (рис. 3б).

Используя схему сушильной установки, указанную на рисунке 3б, как базовую, во ВНИИЛК были начаты исследования по обоснованию

рациональных условий сушки с учетом результатов последующей механической переработки подсушенной тресты.

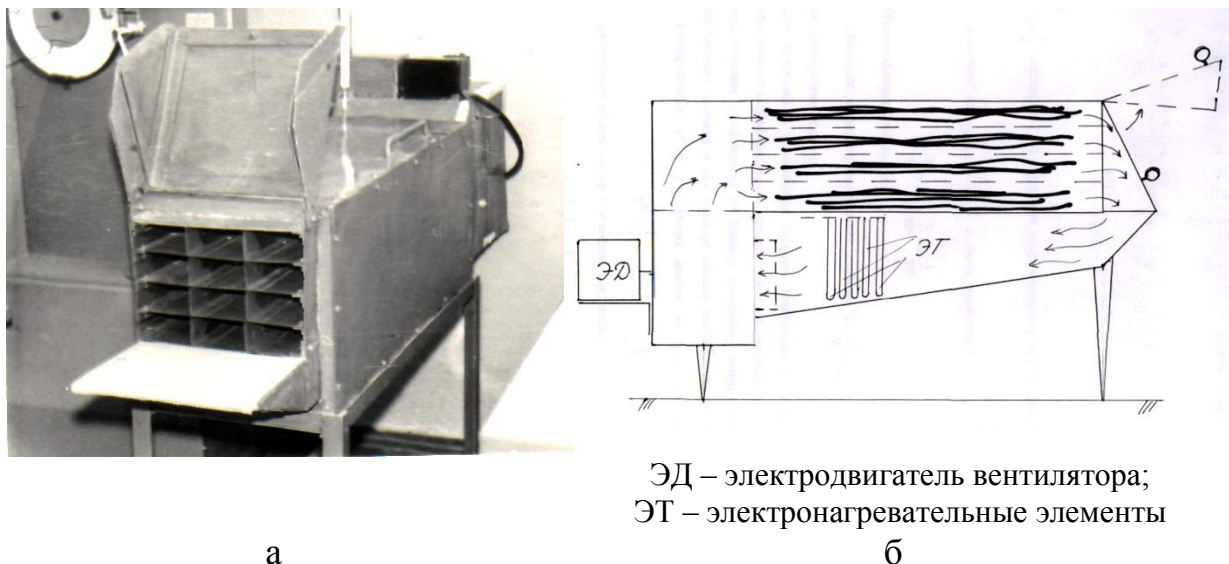


Рис. 3. Внешний вид (а) и схема (б) сушильной установки с щелевой камерой для перемещения теплоносителя вдоль стеблей

Были приняты во внимание особенности обескостривания участков льняных прядей вблизи зажимного транспортера трепальной машины (рис. 6) [8] и факт повышенных потерь волокна при трепании концевых участков прядей из-за их интенсивного захлестывания относительно рабочих кромок бил [9].

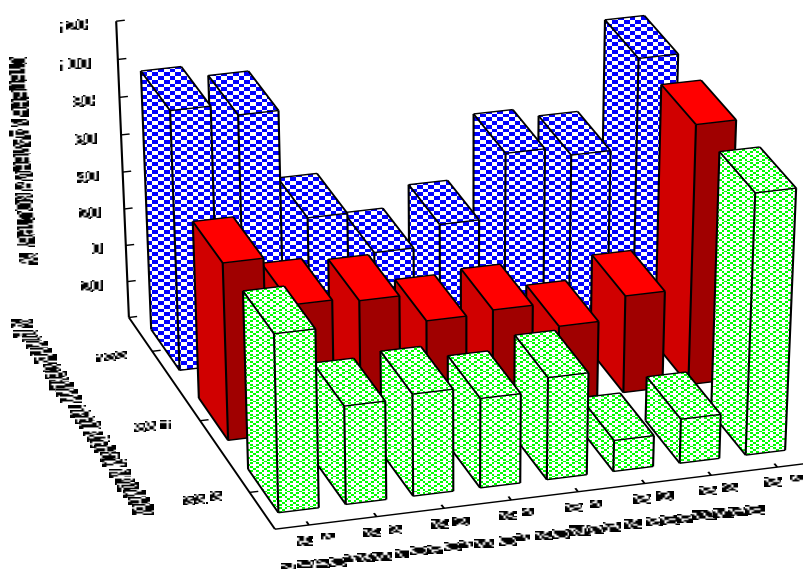


Рис. 6. Степень удаления костры в процессе трепания льна

В отличие от обескостривания концевых участков в зоне зажима количество остаточной кистры на практике оказывается всегда более значительным. Оказалось, что причиной этого – разные условия нагружения участков прядей по их длине в поле трепания (рис. 7) [10].

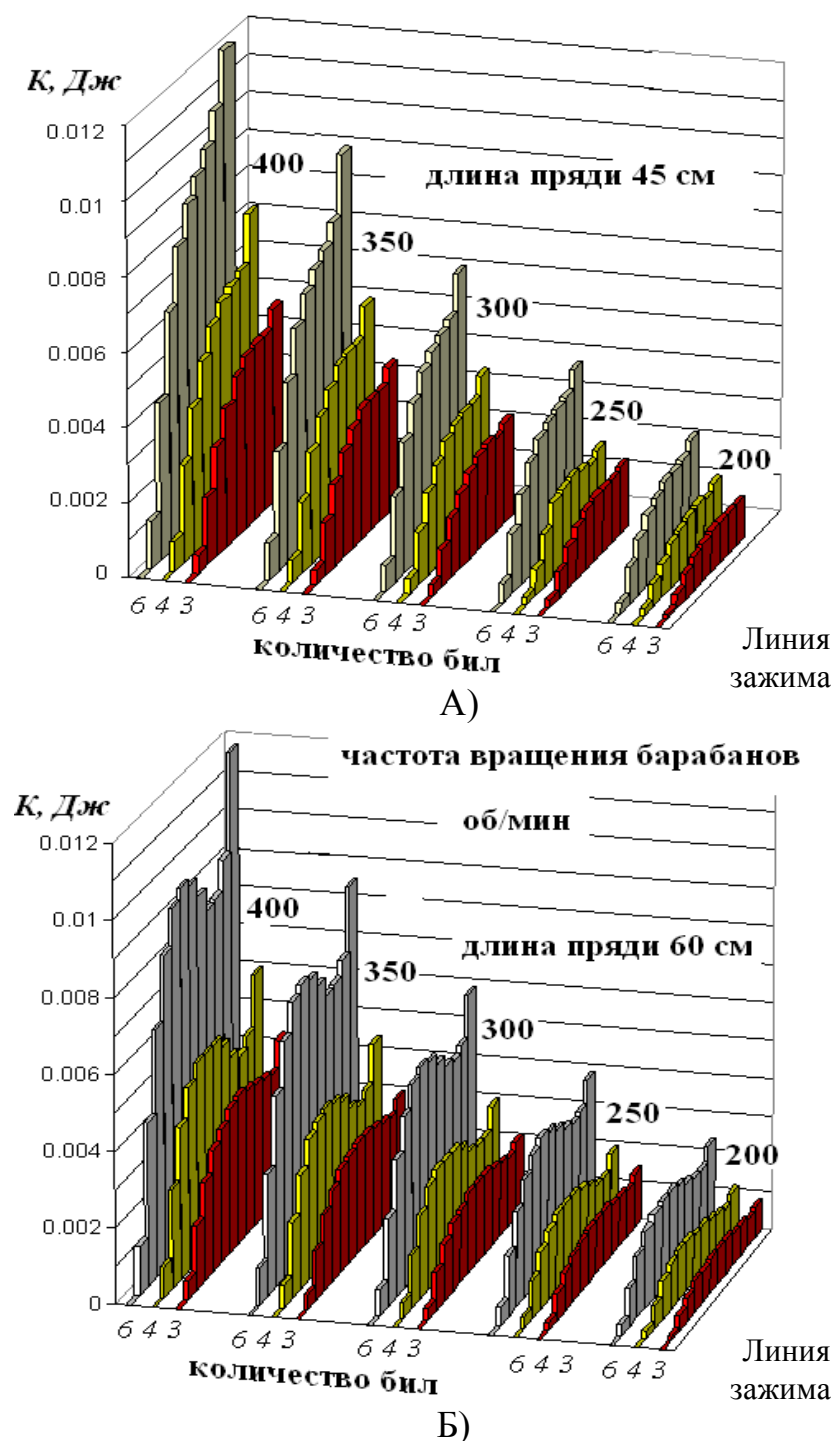


Рис. 7. Изменение кинетической энергии в различных условиях трепания при разной длине прядей (А - 45 см; Б - 60 см)

Этот недостаток было предложено исключить посредством искусственного улучшения показателя отделяемости O волокна от костры в льняной тресте. Этот показатель характеризует декартикационную способность стеблей и зависит от диаметра [11, 12], а значит и от длины L стеблей, а также от их влажности W [13, 14]. Чем больше длина стеблей L и меньше их влажность W , тем лучше показатель отделяемости O . С учётом [11] зависимость между влажностью и длиной стеблей приближённо имеет следующий вид: $W = 1,3544 + 0,0345 L$.

Одновременно с этим были установлены взаимосвязи разрывной нагрузки волокна и показателя отделяемости по длине стебля от его влажности.

Учитывая, что длину стеблей изменить нельзя, было принято решение улучшить показатель отделяемости в средней части стеблей посредством снижения влажности. Полученные результаты явились обоснованием целесообразности дифференцированной подсушки стеблей по их длине, а именно, влажность в концевых участках должна быть больше, чем в средних частях стеблей. В этой случае разрывное усилие волокна в вершиночных и комлевых частях стебля будет выше [15].

Для обеспечения указанной дифференциации было предложено два варианта снижения влажности в средней части слоя по его ширине: дополнительный ввод теплоносителя в среднюю часть слоя или увеличение в ней скорости перемещения теплоносителя относительно стеблей. Способы достижения таких вариантов снижения влажности были запатентованы [16, 17].

К 2010 году появляются публикации с новыми решениями ВНИПТИМЛ (рис. 4) [18] и КГТУ (рис. 5) [19].

Согласно рисунков 4 и 5 и в отличие от варианта сушильной машины ВНИПТИМЛ, авторским коллективом КГТУ была предложена схема, исключая применение внешней сушильной камеры, использование

внешнего теплогенератора, Сама машина имеет несколько модулей (количество, которых может меняться в зависимости от назначения и производительности МТА). Использование предложенной схемы было ориентировано на её универсальное применение: не только для подсушки стеблей тресты (в том числе спутанной), но и для отходов трепания.

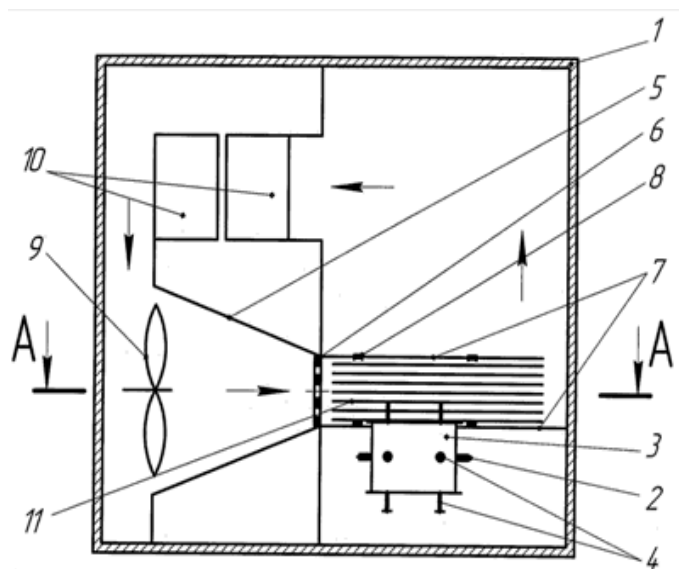


Рис. 4. Сушильная установка, предложенная ВНИПТИМЛ (авторы: Апыхин А.П., Ковалёв М.М., Матвеев Б.Н.) (1-внешняя теплоизолирующая камера, 2-4 конструктивные элементы транспортера слоя, 5 диффузор, 6-ввод в зону сушки, 7-ограничители при перемещении слоя и теплоносителя, 8-продольные направляющие, 9-вентилятор, 10-каллорифер, 11-стебли)

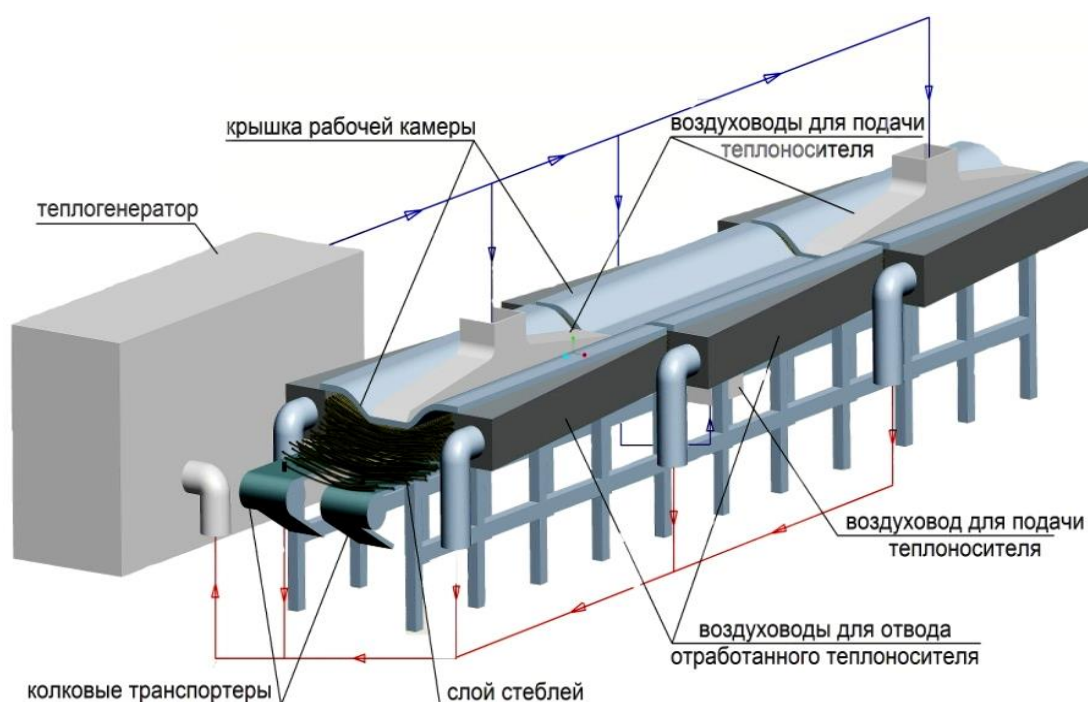


Рис. 5. Сушильная установка, предложенная КГТУ (авторы: Васильев Ю.В., Киселёв Н.В., Пашин Е.Л.)

Особенностью являлась камера сушки. Она была предложена в варианте, при котором она изготовлена из теплоизолирующего материала, с верхними открывающимися крышками. Её поперечное сечение было выполнено с возможностью реверсивного перемещения теплоносителя вдоль стеблей (в каждом модуле своё направление перемещения). В средней части ширины камеры были предложены решения для более интенсивной сушки срединных участков стеблей в слое.

Исследуя такой вариант процесса сушки и схемы для его реализации, были выявлены режимы и условия, при которых его оказалось возможным реализовывать на практике [20]. На кафедре ТПЛВ КГТУ был создан полномасштабный стенд для проведения экспериментальных исследований [21], с использованием результатов которых подтверждена правильность выбранных решений.

Итогом этого подтверждения явилась запатентованная конструкция сушильной машины [22]. Согласно выданного патента на изобретение закреплен приоритет КГТУ на машину, исключаящую внешнюю теплоизолированную камеру. Получило правовую защиту решение создание самой сушильной камеры из теплоизоляционного материала с применением крышек камеры для обслуживания сушиллки. Принципиальным явился приоритет КГТУ на конструкцию, при которой теплоноситель может перемещаться с реверсом. При этом воздуховоды, расположенные по краям камеры, могут выполнять функции, как воздухоборников, так и воздухораспределителей.

При последующей работе при выявлении рациональных режимно-конструктивных параметров сушильной машины и реализуемого с её помощью процесса было осуществлено компьютерное моделирование её работы. Исследования провели с использованием программного комплекса ANSYS [23].



Рис. 6. Экспериментальный стенд для изучения процесса сушки в камере щелевого типа

Моделирование процесса массообмена было проведено применительно к предложенному варианту сушки путем реверсивного перемещения теплоносителя вдоль участков стеблей с разным диаметром в условиях движения слоя и чередующегося (сверху – снизу) дополнительного ввода теплоносителя в среднюю часть слоя (рис. 7).

При моделировании особое внимание уделяли разбросу влажности тресты в слое на выходе из сушилки. Оказалось, что общий разброс по влажности в слое при наличии вариации длины стеблей составляет 4,5 – 19,0%, что с технологической точки зрения недопустимо. В участках слоя, состоящих из стеблей повышенной длины в сравнении с участками с более короткими стеблями влажность была выше.

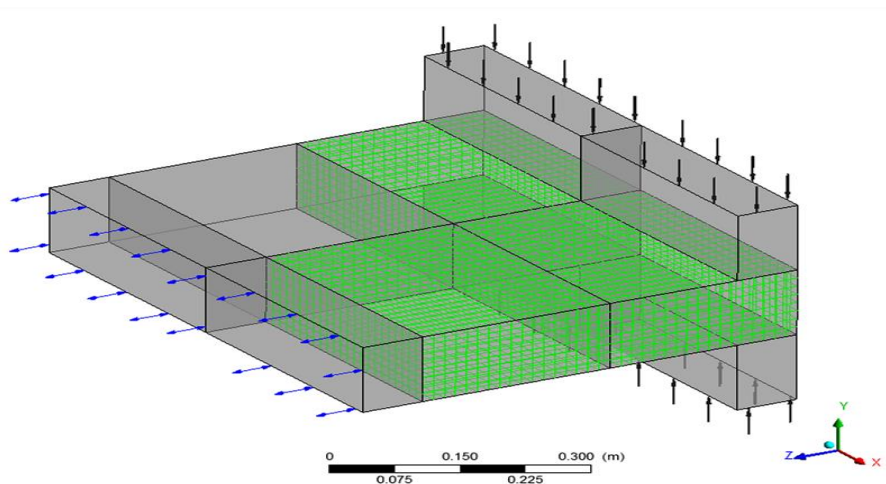


Рис. 7. Схема моделирования и результаты расчета влажности по длине участков стеблей разной длины

Для устранения этого недостатка было обращено внимание на известную обратно пропорциональную зависимость коэффициента влагопроводности от плотности лубоволокнистого сырья [24, с. 64]. Эта зависимость позволила предложить вариант сушки, при котором участки слоя с разной по длине стеблей должны иметь соответствующие этой длине плотности.

По результатам моделирования такого варианта авторским коллективом КГТУ [23] была получена поверхность отклика исследуемой неравномерности по влажности в зависимости от коэффициента уплотнения и ширины слоя из коротких стеблей (рис.8). На основе расчетов предложено линейное уравнение взаимосвязи между соотношением средних длин стеблей для короткостебельного и длинностебельного участков слоя (S , %) и степенью уплотнения коротких стеблей (K_y). Её вид следующий: $K_y = 2,311 - 0,0133 \cdot S$.

При достижении, рассчитываемых по этой зависимости K_y , в условиях фактических значений S , будет обеспечиваться неравномерность средней влажности участков не более 2%.

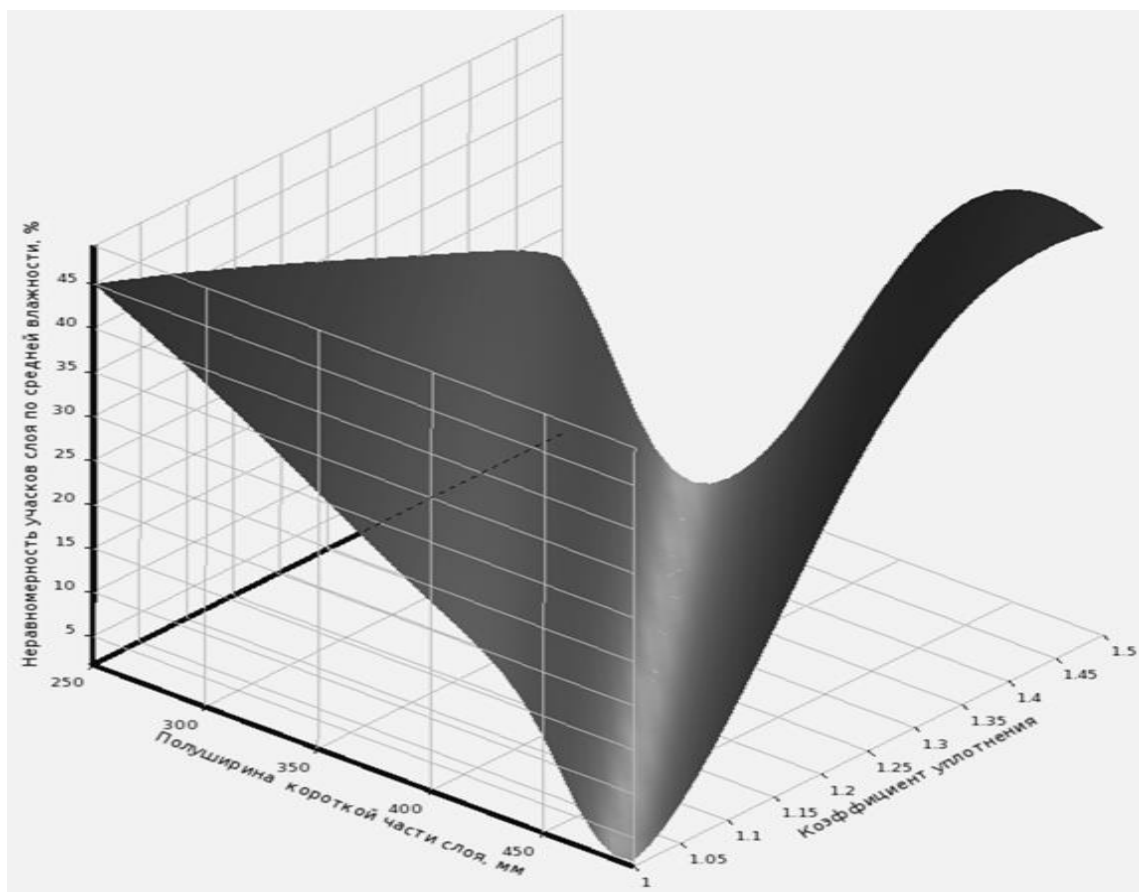


Рис. 8. Изменение неравномерности участков слоя стеблей по влажности в зависимости от соотношения длин стеблей и степени уплотнения короткостебельных участков

Полученные результаты явились основой нового технического решения, совершенствующего предложенную схему сушки [25]. Его суть заключалась в изменении плотности слоя в зависимости от длины стеблей.

Для реализации этого возможно использовать разные технические решения по изменению плотности слоя, но все они предусматривают контроль средней длины стеблей на входе сушильной машины. Дополнительно к этому контролю целесообразно также применять входной контроль влажности перед сушкой.

С учетом проведенных в КГТУ исследований была предложена схема сушильной машины, обеспечивающая более эффективную подсушку средней части слоя и работающая в сопряжении с узлом безконтактного контроля длины и датчика влажности стеблей на входе с сушильную

камеру (рис. 9). Рабочая сушильная камера предлагаемой машины представлена на рисунке 10.

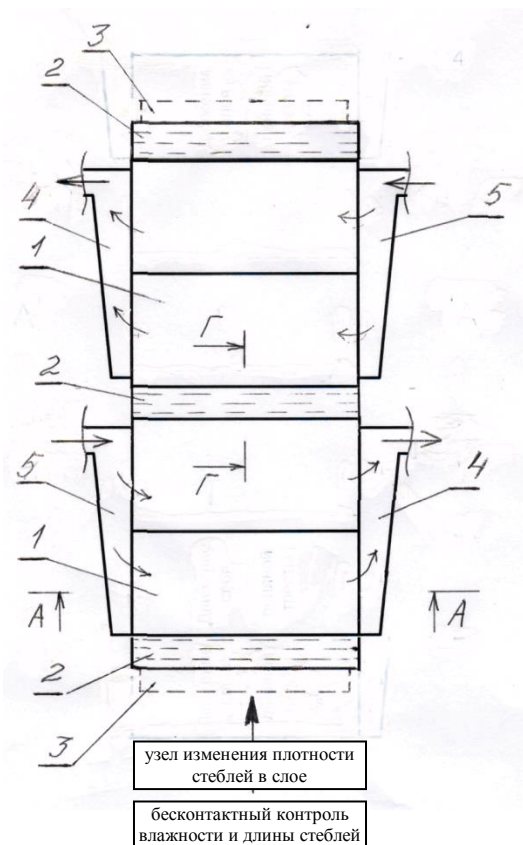


Рис. 9. Схема сушильной машины с щелевой камерой

В сушильной камере имеются направляющие над слоем материала 6 более одного листов с прогибом 7 и закрепленные на них козырьки 8 и под слоем козырьки, соответственно 9 и 10. Все листы с прогибами с козырьками установлены с возможностью изменения путем регулирования расстояний между их кромками и боковой стенкой камеры, соответственно K_i и Π_i . Эти расстояния регулируются в зависимости от свойств и состояния высушиваемого материала. Кроме того, кромки всех козырьков, расположенных под углом к поверхности транспортера, имеют кратчайшие расстояния от их кромок до основания листов с прогибом (вылет) H_i . Их значения могут изменяться по ширине камеры. Кромки козырьков являются криволинейными. Верхняя часть камеры посредством крышек

открывается для её обслуживания. Крышки 11 могут быть выполнены одностворчатыми или двухстворчатыми. Нижняя часть камеры является одновременно поддоном 13. К внутренней части транспортера вблизи козырьков, расположенных под слоем материала, закреплены скребки 12 для перемещения сора. Под ветвью транспортера с материалом кромка одного из козырьков, закрепленного на листе с прогибом, является опорой ветви транспортера, исключая её провисание.

Транспортер перемещается посредством вращающегося вала 14. Стенки камеры и воздуховодов изготовлены с применением теплоизоляционного материала, что также исключает использование внешней теплоизоляционной камеры. Транспортер, дополнительные камеры и секции с сушильными камерами закреплены на основании 15. В дополнительных камерах расположены воздушные замки, перекрывающие сечение сушильной камеры.

В настоящее время в КГТУ уточняются отдельные режимно-конструктивные параметры новой сушильной машины для изготовления её опытного образца.

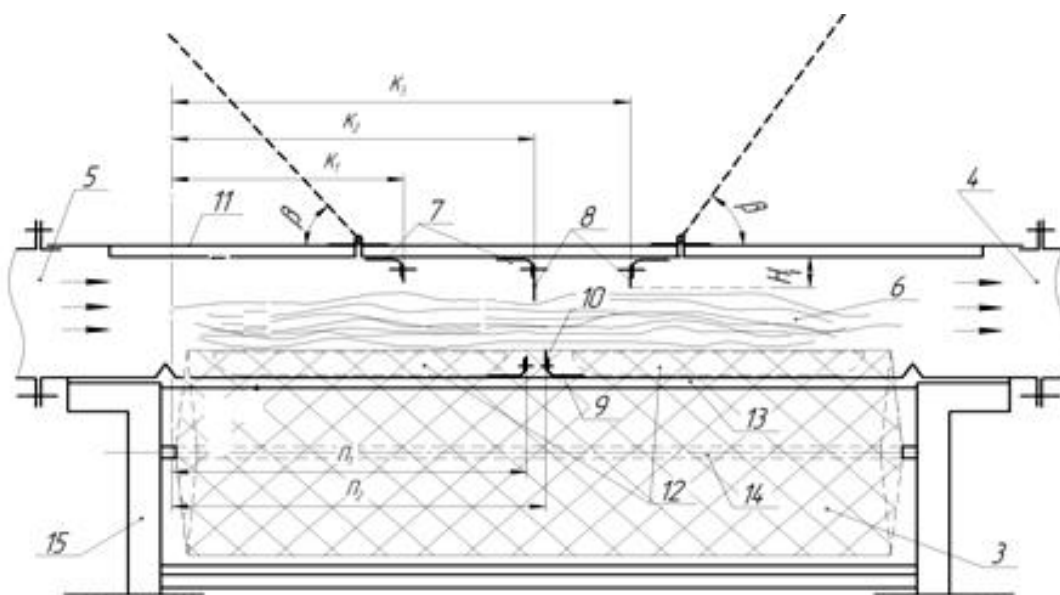


Рис. 10. Поперечное сечение сушильной камеры

ВЫВОДЫ

1. Основными предпосылками для совершенствования процесса сушки льняной тресты и машины для его реализации явились изменившиеся на практике после развала СССР условия производства тресты и особенности её механической переработки. Кроме этого, процесс совершенствования базировался на результатах научно-технических разработок, опубликованных в КТИ, а также решений предложенных А.П. Апыхиным, М.М. Ковалевым и Б.Н. Матвеевым.
2. Существующие на практике сушильные машины для льняной стланцевой тресты с учетом конструкции транспортера для её перемещения, условий перемещения теплоносителя и при повышенной вариации длины стеблей не позволяют эффективно использовать тепловую энергию для снижения влажности льняного сырья.
3. Процесс сушки разных участков стеблей по их длине целесообразно осуществлять с учетом особенностей их последующего механического обескостривания. Средняя часть стеблей должна иметь меньшую влажность.
4. Процесс сушки целесообразно осуществлять посредством перемещения теплоносителя вдоль стеблей в условиях исключения свободных от стеблей пространств.
5. Предложенная новая сушильная машина должна быть модульной. Количество модулей определяется производительностью машин для последующей механической переработки тресты.
6. Предложенная новая сушильная машина должна иметь ограниченную сверху и снизу камеру сушки, изготовленную с применением теплоизолированных материалов, без внешней камеры, исключающей потери тепла. Теплоноситель по ширине машины должен перемещаться вдоль стеблей с возможностью более эффективной просушки средней части стеблей в слое, а по длине машины – с реверсом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круглий И.И., Пашин Е.Л. Повышение эффективности льняного комплекса АПК. Рекомендации. – М.: Росинформагротех, 2007. – 88 с.
2. Пашин Е.Л., Киселёв Н.В., Иванов Е.Э. Исследование параметров слоя, влияющих на эффективность сушки льняной тресты // Вестник КГТУ. – 2012. – №1. – С. 8 – 11.
3. Пашин Е.Л., Иванов Е.Э., Киселёв Н.В. Исследование распределения скорости теплоносителя по ширине транспортёра при сушке тресты // Вестник КГТУ. – 2013. – №1. – С. 9 – 11.
4. Потарин А.А. Оптимизация процесса конвективного способа сушки стеблевого слоя льняной тресты: дисс... канд. техн. наук. – Кострома, 1990.
5. Патент РФ RU2298748/ Установка для сушки лубяного сырья; авторы : А.П. Апыхин, М.М. Ковалев, Б.Н. Матвеев. – Заявл. 10.08.2005. Оpubл. 10.05.2007.
6. Пашин Е.Л. Исследование способа дифференцированного скользящего изгиба стеблей соломы конопли в целях создания аппаратуры для определения их качества: дисс ... канд. техн. наук. – Кострома, 1984.
7. ГОСТ 27024-86. Солома конопляная. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
8. Бойко С.В., Пашин Е.Л. Изменение остаточного содержание костры в волокне при обработке недотрёпаного льна // Вестник ВНИИЛК – 2007. – № 3 – С. 70 – 73.
9. Лапшин А.Б. Развитие теории процесса трепания льна: монография / А.Б. Лапшин, Е.Л. Пашин. – Кострома: КГТУ, 2004. – 204 с.
10. Бойко С.В. Теоретические основы повышения эффективности процесса трепания недоработанного льняного волокна: монография / С.В. Бойко, Е.Л. Пашин. – Кострома: КГТУ-ВНИИЛК, 2008. – 213 с.

11. Жуплатова Л.М. Разработка ускоренного инструментального метода оценки степени вылежки льнотресты: автореф. дисс... канд. техн. наук. – Херсон, 1995.
12. Пашина Л.В., Пашин Е.Л. Исследование разрывной нагрузки и дефектности стланцевого волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998. – № 2, – С. 15 – 18.
13. Благовещенский В.П. Технологическое значение влажности льняной тресты: автор. дисс...канд. техн. наук. – Москва, МТИ, 1962.
14. Волков В.В. Исследование технологического значения влажности стеблей льна в процессе лубовыделения: дисс... канд. техн. наук. – Смоленск, 1970.
15. Васильев Ю.В., Пашин Е.Л., Киселев Н.В. Зависимость прочностных и декорткационных свойств льняной тресты от влажности, степени вылежки стеблей и зоны по их длине // Междун. науч. – техн. конф. «Актуальные проблемы науки». – Кострома: КГТУ, 2010. С. 13 – 15.
16. Патент РФ RU2430318. Способ сушки льняной тресты; автор: Е.Л. Пашин. – Заявл. 09.07.2009. Оpubл. 27.09.2011.
17. Патент РФ RU2431093. Способ сушки льняной тресты; автор: Е.Л. Пашин. – Заявл. 20.07.2009. Оpubл. 10.10.2011.
18. Патент РФ RU2390699. Установка для сушки лубяного сырья; авторы: А.П. Апыхин, М.М. Ковалев, Б.Н. Матвеев. – Заявл. 10.03.2009. Оpubл. 27.05.2010.
19. Васильев Ю.В., Киселёв Н.В., Пашин Е.Л. Разработка энергосберегающей машины и способа термовлажностной подготовки тресты льна к механической обработке / Материалы научно-практической конференции, посвященные 80-летию ВНИИ льна. – Тверь, ВНИИЛ, 2010 г. С. 365 – 367.

20. Васильев Ю.В. Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты. Автор. дисс... канд. техн. наук. – Кострома, КГТУ, 2013.
21. Пашин Е.Л. Разработка экспериментального стенда для изучения процесса сушки тресты и отходов трепания льна // Вестник КГТУ. – 2012. – №2. – С. 14 – 17.
22. Патент РФ RU2502928. Установка для сушки лубяного сырья; авторы: Е.Л. Пашин, Н.В. Киселёв. – Заявл. 12.04.2012.Опубл. 27.12.2013.
23. Киселёв Н.В., Пашин Е.Л., Иванов Е.Э. Моделирование процесса сушки движущегося и варьируемого по ширине слоя льняной тресты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 2, – С. 43 – 46.
24. Суметов В.А. Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов: учебник для вузов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 336 с.
25. Заявка № 2013137086 от 06.07.2013 г. на выдачу патента на изобретение «Способ сушки льняной тресты»; авторы: Пашин Е.Л., Киселёв Н.В., Иванов Е.Э.

E.L. Pashin

**PREREQUISITES TO THE DEVELOPMENT OF NEW DRYING
MACHINE FOR FLAX**