

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СТЕБЛЕЙ ЛЬНОТРЕСТЫ
С ВАРЬИРУЕМОЙ ШИРИНОЙ СЛОЯ
В ЦЕЛЕВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЕ**

**DRYING STEMS FLAX SIMULATION
WITH VARYING WIDTH
OF THE LAYER IN A SLOT DRYING MACHINE**

Е.Э. ИВАНОВ, Н.В. КИСЕЛЕВ, Е.Л. ПАШИН
E.E. IVANOV, N.V. KISELEV, E.L. PASHIN

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: info@kstu.edu.ru

В статье представлен результат теоретического подтверждения возможности снижения неравномерности сушки в слое разной ширины за счет увеличения плотности участков, состоящих из короткостебельного сырья. Использование этого приема не только снижает вариацию влажности сырья при выходе из сушильной машины, но позволяет снизить энергозатраты при реализации процесса.

The article presents the results confirm a theoretical possibility of reducing uneven drying layer of different width due to increased density areas consisting of shortness raw materials. Using this method not only reduces the variation of raw material humidity when exiting drying machine, but can reduce the energy consumption during the process.

Ключевые слова: сушка, сушильная машина, неравномерность, влажность, ширина, энергозатраты.

Keywords: drying, drying machine, unevenness, velocity, humidity, width, energy consumption.

Предложенные в КГТУ варианты совершенствования машинной технологии сушки льняной тресты, обеспечивающие снижение энергозатрат, позволяют улучшать технологические свойства стеблей перед выделением из них волокна, как сырья для текстильной промышленности [1...3]. Согласно этим предложениям рекомендуется использование модульной (секционной) проходной сушильной машины с противоточной схемой движения воздуха по секциям согласно [4] (рис.1).

Рабочая камера машины представляет собой прямоугольное щелевое сечение,

заполненное горизонтально расположенными в слое стеблями, движущимися по длине сушилки. Теплоноситель (горячий воздух) от теплогенератора подается с реверсом по секциям вдоль стеблей. Кроме этого, для интенсификации сушки возможна подача его в среднюю часть слоя сверху и (или) снизу.

Для оптимизации параметров сушки созданы компьютерные модели, на основе возможностей программного комплекса ANSYS [5...7].

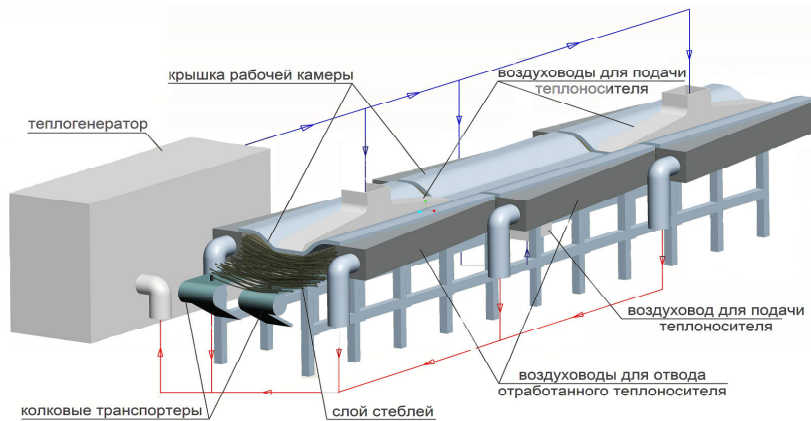


Рис. 1

Моделирование процесса массообмена в слое тресты приведено в условиях движения слоя и на основе построения подвижных сеток. Исследование проводили в условиях системы допущений. Область моделирования соответствовала четырем секциям. Термические и гидродинамические граничные условия на поверхностях области моделирования задавались в соответствии с рис. 2 (задание граничных

условий: 1 – входные сечения подводящих воздуховодов первой и второй секций (IN1); 3 – входные сечения подводящих воздуховодов третьей и четвертой секций (IN2); 2 – выходные сечения отводящих воздуховодов первой и второй секций (OUT1), 4 – выходные сечения отводящих воздуховодов третьей и четвертой секций (OUT2)).

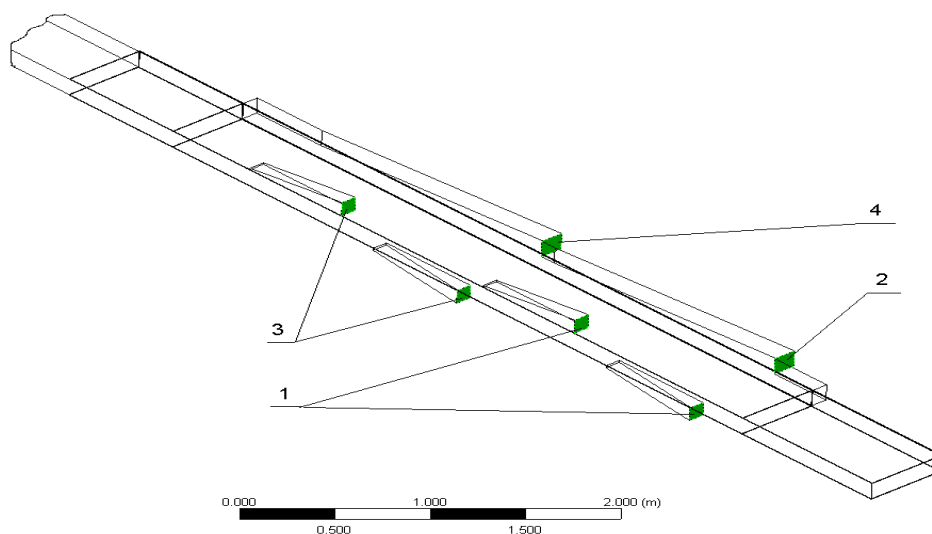


Рис. 2

Во входных сечениях задавали граничные условия типа INLET (скорость и температура воздуха, влагосодержание определяется с учетом влагосодержания рециркуляционного воздуха, выходящего из выходных сечений OUT, атмосферного воздуха и степени рециркуляции).

Реализуя противоточную схему движения воздуха по секциям, в первые две сек-

ции (сечения IN1) подается воздух непосредственно из теплогенератора, а ко вторым двум секциям (сечения IN2) подается воздух, выходящий из первых секций (из сечений OUT1), с добавлением атмосферного воздуха, и подогретый до исходной температуры. Отработанный воздух из сечений OUT2 частично возвращается на ре-

циркуляцию, частично выбрасывается в атмосферу.

При расчетах были приняты следующие условия. Сушке подвергается слой стеблей, имеющий колебания по ширине, обусловленные изменением длины стеблей. Теплоноситель – горячий воздух перемещается вдоль стеблей. Массовый расход и температуру воздуха на входе в слой тресты при моделировании поддерживали на постоянном уровне, соответственно 1 кг/с (расход 6730 м³/ч) и 95°С; температура атмосферного воздуха 20°С, относительная влажность 50%, степень рециркуляции 4. Плотность загрузки принимали 6 кг/м². Высота слоя 0,2 м соответствовала объемной плотности загрузки 40 кг/м³. При времени сушки 100 с (скорость транспортера 4,8 м/мин) производительность машины при принятых параметрах составила 1244 кг/ч.

Учитывали вариацию длины стеблей в слое, приводящую к наличию незаполненных материалом участков транспортера. Степень заполнения транспортера слоем тресты задавалась с учетом экспериментальных данных, полученных в условиях Шолоховского льнозавода [8]. Плотность стеблей в слое оставляли равномерной.

По результатам моделирования особое внимание уделяли разбросу влажности тресты в слое на выходе из сушилки. Было рассчитано распределение конечной влажности стеблей по длине слоя для средних и концевых участков стеблей (рис. 3 – распределение влажности стеблей (кг/кг) по длине слоя после сушки: а) – средняя часть слоя; б) – концевые участки). Оказалось, что общий разброс по влажности в слое при наличии вариации длины стеблей составляет 4,5...19,0%, что с технологической точки зрения недопустимо.

Полученные результаты объясняются, вероятно, различиями по ширине отдельных участков стеблевого слоя. В предположении однородности слоя по плотности участки слоя с различной шириной имеют различное аэродинамическое сопротивление, вследствие чего скорость сушильного агента в них также различается. В итоге более длинные стебли, в целом, высыхают

менее интенсивно, что ведет к росту вариации влажности слоя по завершении процесса сушки.

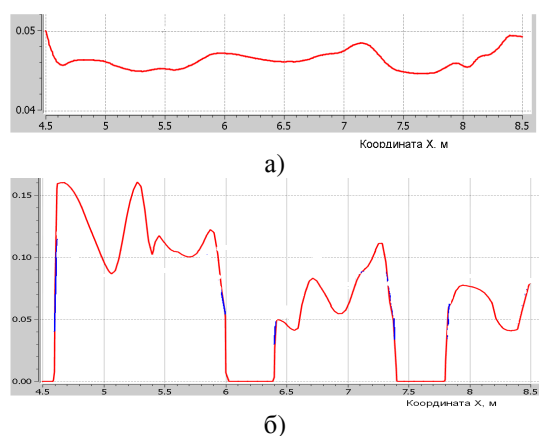


Рис. 3

Для устранения этого негативного эффекта предлагается при формировании слоя перед сушкой отслеживать длину стеблей по его участкам и дополнительно уплотнять участки с короткостебельной трестой. Это должно компенсировать снижение аэродинамического сопротивления указанных участков при движении воздуха вдоль стеблей, что характерно именно для целевой сушильной машины.

Для оценки эффективности данного предложения проведен двухфакторный вычислительный эксперимент по изучению влияния вариации длины стеблей на равномерность сушки при учете изменения слоя по плотности. Вычислительный эксперимент проводили на упрощенной модели половины ширины слоя (при допущении его симметрии), условно состоящего из двух участков, для одного из которых варьировались длина стеблей и плотность. Соответствующая геометрическая модель с граничными условиями приведена на рис. 4 (схема моделирования и результаты расчета влажности по длине участков стеблей разной длины).

Расчеты выполнены при следующих условиях: расход теплоносителя 0,2 кг/с (скорость в слое 2...4 м/с), смена подачи горячего воздуха (сверху–снизу) через 20 с, что имитировало переход слоя из одной секции машины в другую.

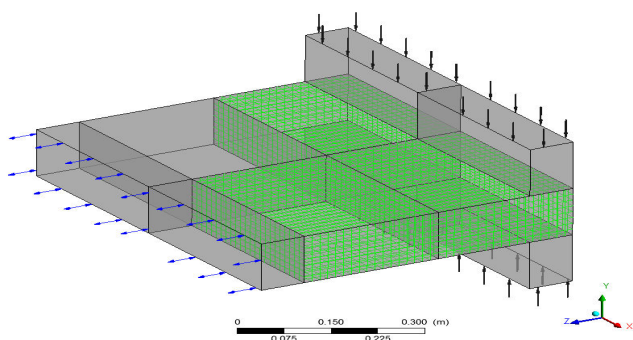


Рис. 4

Параметры теплоносителя соответствовали данным предыдущей модели. Полуширина короткой части слоя изменялась в пределах 250...500 мм, что при полуширине длинной части слоя 500 мм соответствовало степени заполнения транспортера 50...100%. При этом плотность участка слоя с короткими стеблями изменялась в пределах 100...150% от плотности участка с длинными стеблями. Время сушки фиксировалось по достижению одним из участков средней влажности 10%. В ходе эксперимента рассчитывали неравномерность участков слоя по средней влажности (соотношение средних значений влажности участков за вычетом единицы), выраженной в процентах.

Полученная поверхность отклика исследуемой неравномерности по влажности в зависимости от коэффициента уплотнения и ширины слоя из коротких стеблей представлена на рис. 5 (изменение неравномерности участков слоя стеблей по влажности в зависимости от соотношения длин стеблей и степени уплотнения короткостебельных участков).

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). Ее вид следующий:

$$K_y = 2,311 - 0,0133S.$$

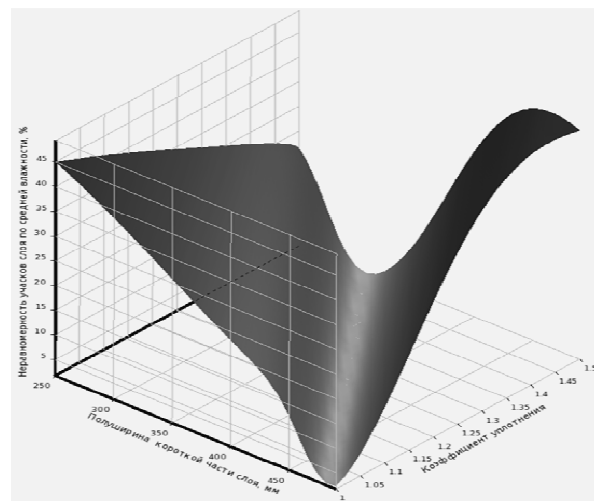


Рис. 5

При достижении рассчитываемых по этой зависимости K_y в условиях фактических значений S будет обеспечиваться неравномерность средней влажности участков не более 2%. Такой итог сушки положительным образом отразится на последующих результатах механической обработки льна.

Из полученных результатов вытекает теоретическое подтверждение возможности снижения неравномерности сушки в слое разной ширины за счет увеличения плотности участков, состоящих из короткостебельного сырья. Использование этого приема не только снижает вариацию влажности сырья при выходе из сушильной машины, но позволяет снизить энергозатраты при реализации процесса. По результатам модельного эксперимента оказалось, что удельные затраты тепла составили 2505 кДж/кг, что почти в 2 раза меньше, чем у применяемых на практике сушильных машин.

ВЫВОДЫ

1. Моделирование процесса сушки в машине по решению [4] в условиях движущегося стеблевого слоя разной ширины выявило различие по времени высыхания участков стеблей льна разной длины. Длинные стебли, в целом, высыхают менее интенсивно, что ведет к росту вариации влажности слоя по завершении процесса сушки.

2. Теоретически подтверждена возможность снижения неравномерности сушки в слое разной ширины за счет увеличения плотности участков из короткостебельного сырья.

3. Установлена зависимость между соотношением средних длин стеблей для участков слоя разной ширины и коэффициентом уплотнения, при котором обеспечивается минимальная неравномерность сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Ю.В., Киселев Н.В., Пашин Е.Л., Смирнов А.М. Оценка технологической эффективности нового способа термовлажностной подготовки льняной тресты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 5. С. 21...24.
2. Васильев Ю.В., Киселев Н.В., Пашин Е.Л. Совершенствование процесса термовлажностной подготовки тресты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 1. С. 22...25.
3. Патент РФ № 2430318. Способ сушки льняной тресты. Автор: Пашин Е.Л. Заявитель КГТУ. Оpubл. 27.09.2011 г., бюл. № 27.
4. Патент РФ № 2502928. Установка для сушки льняного сырья. Авторы: Пашин Е.Л., Киселев Н.В. Заявитель КГТУ. Оpubл. 27.10.2013 г., бюл. № 36.
5. Васильев Ю.В., Киселев Н.В., Пашин Е.Л. Компьютерная модель сушки слоя льняной тресты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №5. С. 28...32.
6. Васильев Ю.В. Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты: Дис... канд. техн. наук. – Кострома, 2013. С.16.
7. Иванов Е.Э., Киселев Н.В., Пашин Е.Л. Моделирование процесса сушки движущегося и варьруемого по ширине слоя льняной тресты //

Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №2. С. 43...46.

8. Иванов Е.Э., Пашин Е.Л., Киселев Н.В. Исследование параметров слоя, влияющих на эффективность сушки льняной тресты // Вестник Костромского гос. технолог. ун-та. – Кострома, 2012, №1 (28). С. 8...11.

REFERENCES

1. Vasil'ev Ju.V., Kiselev N.V., Pashin E.L., Smirnov A.M. Ocenka tehnologicheskoj jeffektivnosti novogo sposoba termovlazhnostnoj podgotovki l'njanoy tresty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, № 5. S. 21...24.
2. Vasil'ev Ju.V., Kisel'ov N.V., Pashin E.L. Sovershenstvovanie processa termovlazhnostnoj podgotovki tresty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2012, № 1. S. 22...25.
3. Patent RF № 2430318. Sposob sushki l'njanoy tresty. Avtor: Pashin E.L. Zajavitel' KGTU. Opubl. 27.09.2011 g., bjul. № 27.
4. Patent RF № 2502928. Ustanovka dlja sushki l'njanogo syr'ja. Avtory: Pashin E.L., Kisel'ov N.V. Zajavitel' KGTU. Opubl. 27.10.2013 g., bjul. № 36.
5. Vasil'ev Ju.V., Kisel'ov N.V., Pashin E.L. Komp'juternaja model' sushki sloja l'njanoy tresty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010, №5. S. 28...32.
6. Vasil'ev Ju.V. Sovershenstvovanie tehnologii i oborudovanija dlja sushki stlancevoj l'njanoy tresty: Dis... kand. tehn. nauk. – Kostroma, 2013. S.16.
7. Ivanov E.Je., Kisel'ov N.V., Pashin E.L. Modelirovanie processa sushki dvizhushhegosja i var'iruемого po shirine sloja l'njanoy tresty // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №2. S. 43...46.
8. Ivanov E.Je., Pashin E.L., Kisel'ov N.V. Isledovanie parametrov sloja, vlijajushhih na jeffektivnost' sushki l'njanoy tresty // Vestnik Kostromskogo gos. tehnolog. un-ta. – Kostroma, 2012, №1 (28). S.8...11.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 18.11.14.