

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗДУХА ПРИ СУШКЕ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ В РУЛОНАХ*

ABOUT THE RECIRCULATION OF HOT AIR IN THE DRYING PROCESS OF FLAX STOCK ROLLS

A.G. НОСОВ, Н.В. КИСЕЛЁВ
A.G. NOSOV, N.V. KISELEV

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

Предложена компьютерная модель процесса сушки льняной тресты в рулонах с учетом неоднородности слоя по плотности. На основе моделирования показаны преимущества аксиальной продувки рулона, а также возможность снижения затрат на сушку на 40...50% при использовании рециркуляции теплоносителя.

The computer model of the drying process of flax stock in rolls with the heterogeneity of the layer density is proposed. Analysis of computer model shows the advantages of axial blow during a drying rolls with non-uniform density. Found that the use of recirculation reduces the cost of drying roll by 40% with radial and 50% with axial blowing.

Ключевые слова: льняная треста, рулон, сушка тресты, компьютерная модель сушки, схема продувки, рециркуляция воздуха.

Keywords: tread flax fibers, belt, fiber drying, computer model of drying, blowing schematic, air recycling.

В настоящее время широко используется комбайновая технология уборки льна с прессованием его в рулоны. Уборка проводится во второй половине августа и в сентябре, когда погодные условия становятся неблагоприятными, что приводит к растягиванию периода уборки и к ежегодным потерям 40...50% выращенного урожая [1]. Рулоны льна в таких условиях имеют влажность 35...40% [2], а льнозаводы принимают льнотресту с влажностью не более 20%. В связи с этим требуется досушка льна в рулонах до кондиционной влажности на специализированных сушильных установках.

В существующих сушильных машинах СЛР-3, СЛР-3 М2 реализован способ пода-

чи теплоносителя в рулон в направлении его оси (аксиальная продувка). Однако в настоящее время предлагаются и альтернативные способы подачи воздуха в слой тресты в рулоне, отличающиеся продувкой его в радиальном направлении, за счет введения в центр рулона прокалывателя диаметром до 250 мм с равномерной перфорацией, выполняющего функции распределителя теплоносителя [2].

Исследования процесса сушки льняной тресты в рулонах с целью повышения качества сырья и энергоэффективности процесса с использованием различного оборудования и режимов сушки выполнялись преимущественно экспериментальными методами [2...5], что объясняется сложно-

* В работе принимал участие студент А.И. Архипов.

стью решения задачи в общей постановке применительно к многоуровневой структуре льняного стебля и рулона в целом.

Целью данной работы является теоретическое сравнение эффективности аксиальной и радиальной подачи теплоносителя в рулон на основе компьютерной модели процесса сушки, в том числе с использованием рециркуляции сушильного агента, которая в существующих сушильных машинах не применяется. Использован подход к моделированию процессов массообмена при сушке лубоволокнистых материалов, описанный в [6] и позволяющий в значительной степени упростить процесс решения и повысить общность результатов по сравнению с чисто экспериментальными методами.

Модель разработана в среде CAE-системы ANSYS CFX 14.0 и учитывает основные геометрические характеристики объекта, параметры рулона и сушильного агента, способ подачи воздуха в слой тресты. Для ускорения счета учтена осевая симметрия рулона, рассматривался сектор величиной 2 угловых градуса.

Компьютерная модель в целом соответствует [6], однако с учетом особенностей рассматриваемого объекта сушки имеются существенные уточнения, в первую очередь отражающие неоднородность рулона по плотности, а следовательно, по проницаемости, что не может не сказаться на показателях процесса сушки. Исследования распределения плотности по высоте [4, с. 86] и радиусу рулона [4, с. 95] показывают, что наибольшей неравномерностью отличается распределение по высоте, а распределение по радиусу в первом приближении подчиняется линейному закону. В среднем, по данным [4], соответствующая функция может быть аппроксимирована зависимостью:

$$P(x, y) = \frac{21,39 + 43,6y}{1 - 3,442y + 4,045y^2} (1,084 - 0,1876x), \quad (1)$$

где P – плотность слоя, кг/м^3 ; x, y – координаты по радиусу и высоте рулона соответственно, м.

Характер распределения плотности по координатам y и x представлен на рис. 1.

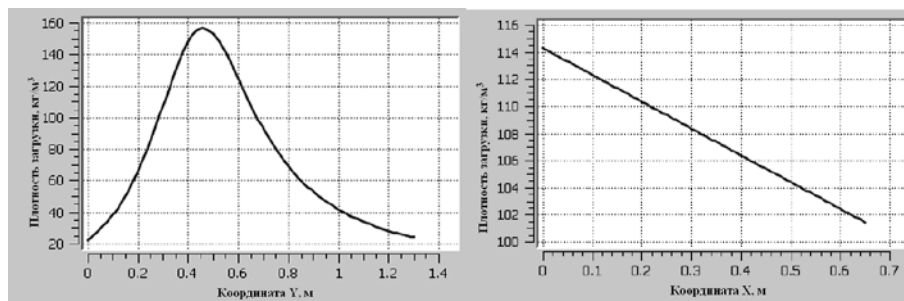


Рис. 1

Зависимость проницаемости слоя от его плотности, диаметра и ориентации стеблей, по данным [7], [8], после преобразования выражалась следующими функциями:

$$c = 0,187 \left(\frac{v}{w} \right)^{0,277} \left(d_{\text{ст}} \left(\frac{\beta}{P} - 1 \right) \right)^{1,723}, \quad (2)$$

при $Re < 560$,

$$c = 1,613 \left(\frac{v}{w} \right)^{0,618} \left(d_{\text{ст}} \left(\frac{\beta}{P} - 1 \right) \right)^{1,382}, \quad (3)$$

при $Re = 560 - 7500$,

$$c = 0,158 \left(\frac{v}{w} \right)^{0,845} \left(2 d_{\text{ст}} \left(\frac{\beta}{P} - 1 \right) \right)^{1,155}, \quad (4)$$

где c – проницаемость, м^2 ; $d_{\text{ст}}$ – средний диаметр стеблей, м; β – тяжеловесность стебля, кг/м^3 ; P – плотность слоя, кг/м^3 ; v –

коэффициент кинематической вязкости воздуха, m^2/c ; w – скорость фильтрации воздуха в слое, m/c .

Формулы (2), (3) соответствуют проницаемости в направлении оси y (параллельно стеблям, без учета дезориентации), формула (4) – в направлении оси x (перпендикулярно стеблям).

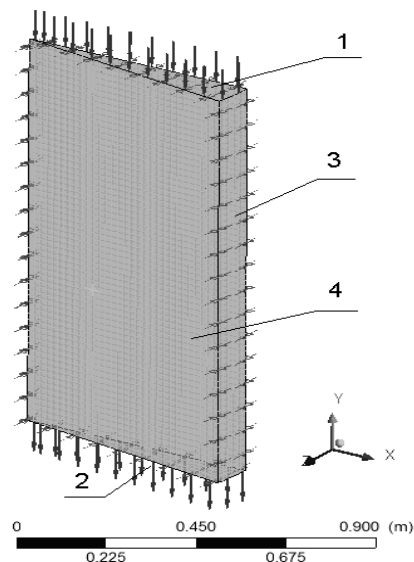


Рис. 2

Кроме того, при формировании граничных условий для сечений 1, 2 (рис. 2 – элемент рулона с граничными условиями при аксиальной продувке: 1, 2 – входные (выходные) сечения (Opening), 3 – непроницаемая граница (Wall), 4 – плоскости симметрии (Symmetry)) учтена возможность реверсирования подачи воздуха, что соответствует сушильной машине СЛР-3 М2.

Расчеты выполнены при следующих условиях: массовый расход воздуха на входе 2 кг/с (средняя скорость в слое 2,5 м/с), относительная влажность подогретого атмосферного воздуха 17%, температура 80°C, смена направления подачи воздуха через 2 мин, степень рециркуляции варьировалась в интервале 0...8. Начальная влажность тресты 40%, средняя конечная влажность 8%. При этом для повышения равномерности раздачи воздуха в схеме с радиальной продувкой учтено сопротивление перфорации трубы прокальвателя 300 Па. При расчете затрат на сушку учтены только стоимость тепла (830 руб. за Гкал), электроэнергии (4,3 руб. за кВт·ч) и тарифная ставка рабочего (102 руб. на т тресты). Полученные зависимости параметров процесса от степени рециркуляции представлены на рис. 3.

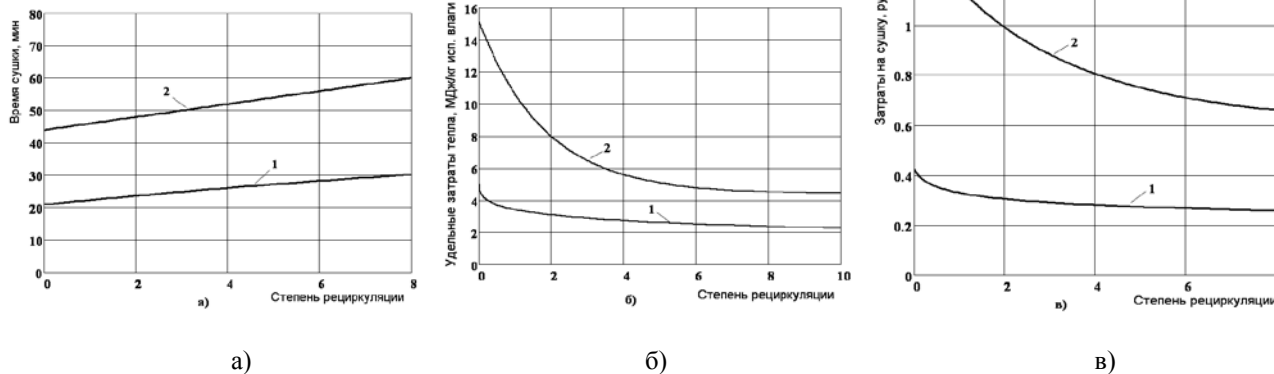


Рис. 3

Из рис. 3 (зависимость времени сушки: а) – удельных затрат тепла; б) – затрат на сушку; в) – от степени рециркуляции при аксиальной (1) и радиальной (2) продувке рулона) видно, что аксиальная продувка рулона показывает значительно лучшие результаты. Это объясняется как способом подвода воздуха, так и распределением

проницаемости по объему рулона. В-первых, неравномерность по плотности, а следовательно, по проницаемости, по высоте рулона значительно более высока, чем по диаметру.

Это приводит к ускоренному высыханию участков с высокой проницаемостью с последующей утечкой через них су-

шильного агента с неиспользованным потенциалом сушки. Именно поэтому повышение степени рециркуляции дает в данном случае значительно больший эффект. Во-вторых, при использовании прокалывателя, в силу неравномерного распределения потока по его высоте, поле скоростей в сечении рулона также получает дополнительную неравномерность.

На рис. 4 представлены поле скоростей и линии тока воздуха в сечении рулона: а) – аксиальная продувка; б) – радиальная продувка, при подаче от центра; в) радиальная продувка, при подаче к центру.

При сопротивлении перфорации 300 Па, диаметре трубы 250 мм и средней плотности рулона 74 кг/м^3 в нем даже образуется зона рециркуляции (рис.4-б).

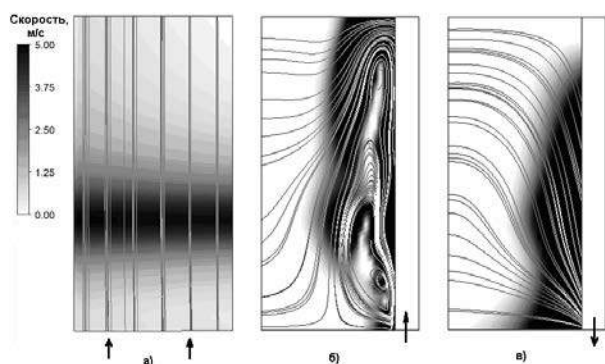


Рис. 4

Бороться с этим можно только увеличением диаметра трубы и повышением сопротивления перфорации, закон изменения которого по высоте рулона должен учитывать наиболее вероятное распределение плотности. В-третьих, сопротивление слоя тресты при продувке поперек стеблей существенно выше, чем при продольной продувке, что приводит к повышению затрат на электроэнергию для привода вентилятора. Доля затрат на электроэнергию составляет примерно 8% при аксиальной и 25% при радиальной продувке.

Использование рециркуляции дает значительный эффект как при радиальной, так и при аксиальной продувке рулона. В первом случае можно ожидать уменьшения

затрат на сушку на 50%, во втором – на 40%, что является существенным резервом снижения себестоимости.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа компьютерной модели показаны преимущества аксиальной продувки при сушке льняной тресты в рулонах с неравномерной плотностью.

2. Установлено, что использование рециркуляции воздуха позволяет снизить затраты на сушку рулона на 40% при радиальной и на 50% при аксиальной продувке.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оробинский Д. Ф.* Уборка льна в условиях Северо-Западного региона России: Учебное пособие. – Вологда–Молочное: ИЦ ВГМХА, 2007.

2. *Шушков Р.А., Кузнецов Н.Н., Оробинский Д.Ф.* Обоснование способа досушивания прессованного в рулоны льна // Молочнохозяйственный вестник. – 2012, №2 (6), II кв. С.85.

3. *Шушков Р.А., Кузнецов Н.Н., Оробинский Д.Ф.* Особенности процесса досушки рулонов льна // Молочнохозяйственный вестник. – 2012, №3 (7), IV кв. С. 84.

4. *Дубкова И.А.* Совершенствование технологии подготовки льнотресты в рулонах к механической переработке : Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2000.

5. *Кузнецов Н. Н.* Повышение эффективности заготовки прессованного в рулоны сена путем оптимизации параметров процесса сушки и режимов работы оборудования: Дис. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2007.

6. *Васильев Ю.В., Киселев Н.В., Пашин Е.Л.* Компьютерная модель сушки слоя льняной тресты // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –2011, №3. С.119...123.

7. *Гаврилова А.Н.* Аэродинамическое сопротивление льносоломы при горизонтальном расположении стеблей //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1972, №2.

8. *Гаврилова А.Н.* Уравнение для определения гидравлического сопротивления льносоломы при вертикальном расположении стеблей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.–1968, №5.

Рекомендована кафедрой технологии производства льняного волокна. Поступила 07.06.13.