

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ НА КОНВЕЙЕРНЫХ СУШИЛЬНЫХ МАШИНАХ С УЧЕТОМ ВАРИАЦИИ ШИРИНЫ СЛОЯ

А.И. Шаланина, Н.В. Киселёв  
*ФГБОУ ВПО КГТУ, г. Кострома, Россия*

**Аннотация.** На базе компьютерной модели исследован процесс сушки льняной тресты на конвейерных сушильных машинах с учетом вариации ширины слоя.

**Ключевые слова.** Сушка тресты, энергозатраты, степень рециркуляции.

До настоящего времени на отечественных льнозаводах работают сушильные машины для стланцевой льняной тресты СКП-1-10ЛУ, СКП-1-10ЛУ1, СЛП-140-ЛС которые были созданы в условиях, когда стоимость энергоносителей была не велика. Однако в настоящее время затраты на сушку в структуре себестоимости длинного волокна достигают 40% от общих энергозатрат на льнозаводе [1].

В значительной степени низкая эффективность сушки льнотресты с использованием существующей техники объясняется различиями свойств стеблей, поступающих на обработку при рулонной технологии уборки. Исследование степени заполнения транспортера трестой в условиях Шолоховского льнозавода [2] позволило установить, что на практике этот показатель находится на уровне 75% при колебаниях в пределах 44–95%. При этом поток теплоносителя при сушке короткостебельного льна стремится пройти сквозь незакрытые слоем участки транспортёрного полотна. Экспериментальные данные [3], полученные на машине СКП-1-10ЛУ1, показывают, что при расположении на транспортере короткостебельного льна, скорости теплоносителя по краям слоя, в сравнении со скоростью в его средней части, имеют различия до 250%. Это вызывает недоиспользование потенциала сушильного агента и повышение удельных энергозатрат. Кроме того, часть стеблей недосушивается, что снижает выход длинного трепаного волокна. Моделирование процесса сушки тресты при вариации длины стеблей и использовании схемы с продольной продувкой слоя [4] показывает наличие в данном случае разброса по влажности в слое 4,5–19,0%, что с технологической точки зрения недопустимо. В существующих машинах конвейерного типа для сушки льняной тресты проблема неравномерной сушки в принципе решается за счет пересушивания слоя с последующим его увлажнением до технологической влажности. Очевидно, что это вызывает повышенный расход тепловой энергии, который может быть уменьшен за счет увеличения степени рециркуляции сушильного агента. Такого рода оценки ранее не

производились, хотя они могли бы выявить резервы по снижению энергопотребления на существующих машинах.

В работе исследовалось влияние степени рециркуляции, температуры сушильного агента и степени заполнения транспортера трестой на основные показатели процесса сушки при схеме продувки слоя, соответствующей машине СКП-1-10ЛУ. Исследования выполнены на базе компьютерной модели, разработанной в среде ANSYS CFX. Геометрическая модель представляет сечение сушильной камеры (рис.1.) и слоя тресты, продуваемого вертикальным потоком воздуха. Использование 2D-модели позволяет выполнить трехфакторный вычислительный эксперимент при минимальных вычислительных ресурсах.

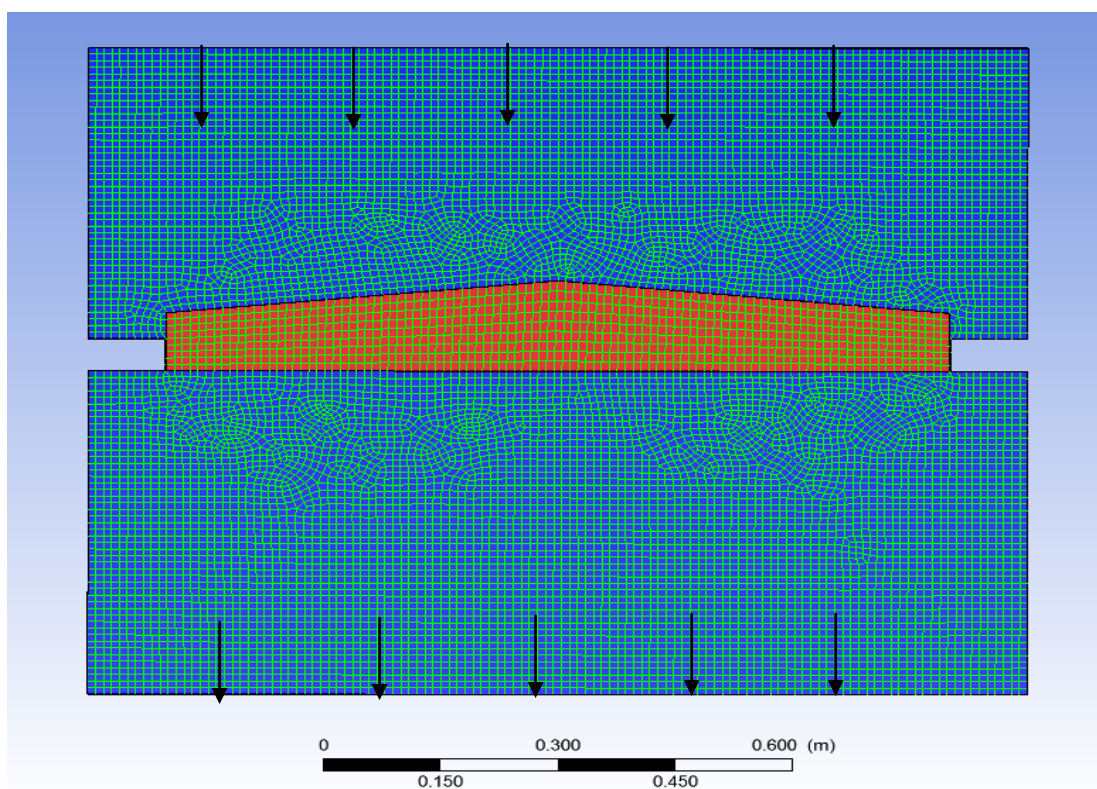


Рис.1. Геометрическая модель сечения сушильной камеры

Толщина слоя в средней части составляла 140 мм, по краям 90 мм, объемная плотность загрузки считалась постоянной  $50 \text{ кг/м}^3$ . Полуширина слоя варьировалась в диапазоне 250–500 мм, что соответствовало степени заполнения транспортера 50–100%. Массообменные и фильтрационные свойства слоя тресты принимались по данным [4]. Скорость воздуха на входе составляла 1,7 м/с, что соответствует параметрами машины СКП-1-10ЛУ, температура варьировалась в диапазоне 65–95°C, относительная влажность 17% степень рециркуляции 0–5. Начальная влажность 25%, время сушки при моделировании определялось по моменту, когда максимальная влажность в слое не превышала 10%.

Результаты моделирования представлены в виде графиков. Анализ рис. 2 показывает, что уменьшение степени заполнения транспортера трестой

резко увеличивает время сушки в следствие "обхода" слоя воздухом через незакрытые участки транспортера. Увеличение рециркуляции лишь в некоторой степени сглаживает данный эффект. Увеличение времени сушки связано с повышением удельного расхода электроэнергии и отрицательно влияет на себестоимость.

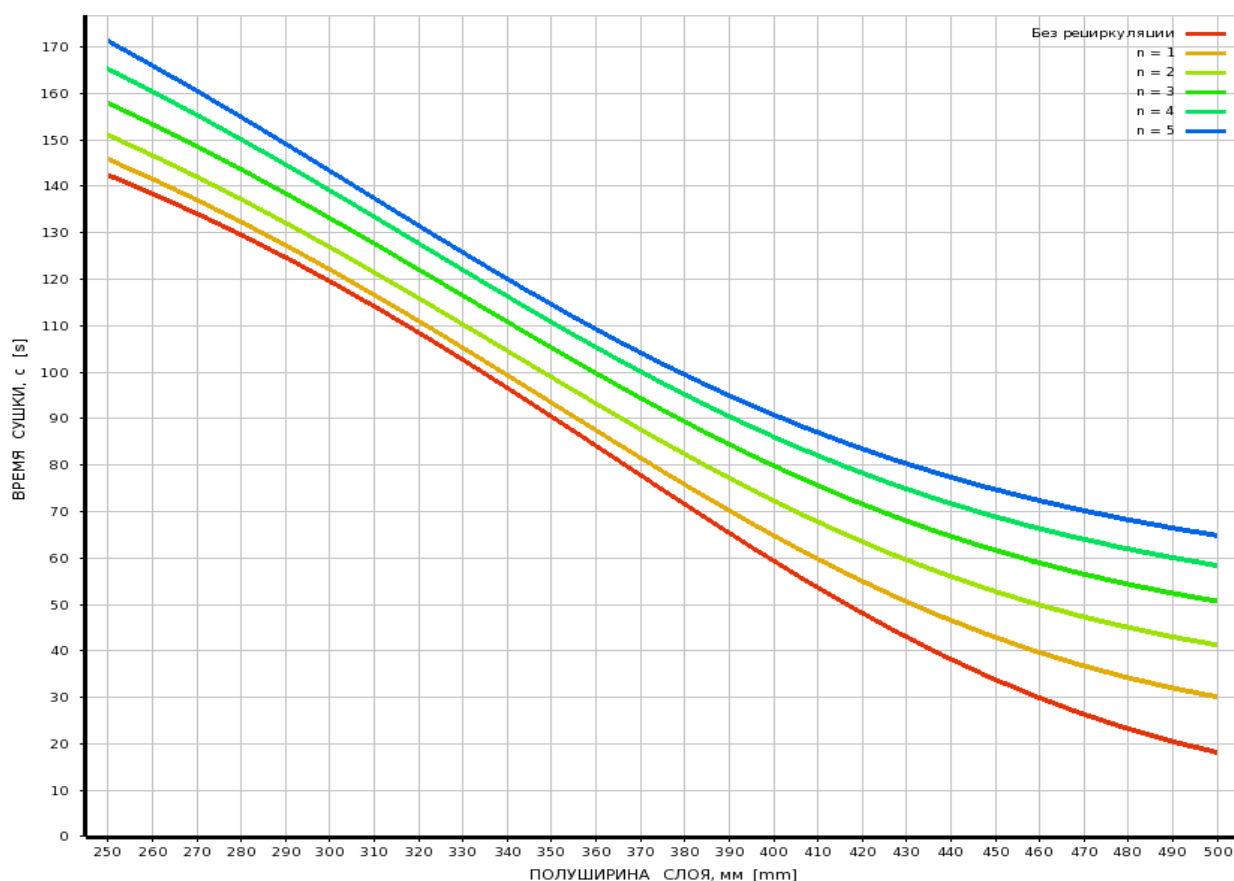


Рис.2. Зависимость времени сушки от степени рециркуляции и полуширины слоя тресты при температуре воздуха 80°C

Повышение начальной температуры воздуха при сушке слоя с вариацией по ширине (рис.3) приводит к снижению времени сушки, причем с ростом температуры этот эффект уменьшается.

Для слоя варьируемой ширины характер зависимости времени сушки от температуры не зависит. Наибольший интерес представляет зависимость удельных затрат тепла на испарение влаги от степени рециркуляции и полуширины слоя (рис. 4). Очевидно, что наименьшие удельные затраты тепла имеют место при полностью заполненном трестой транспортере и максимальной степени рециркуляции. Расчет показывает значение 0,29 МДж на килограмм испаренной влаги, что близко к теоретическому пределу 0,226 МДж/кг.

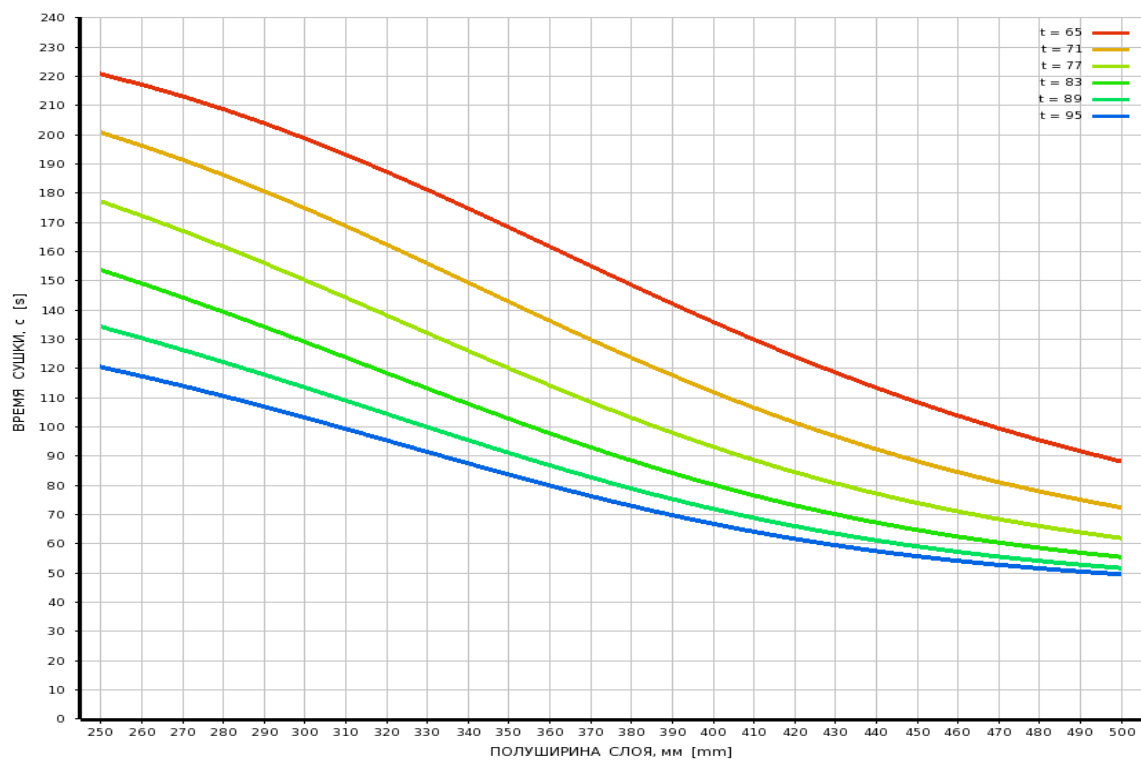


Рис.3. Зависимость времени сушки от температуры воздуха и полуширины слоя тресты при степени рециркуляции  $n=4$

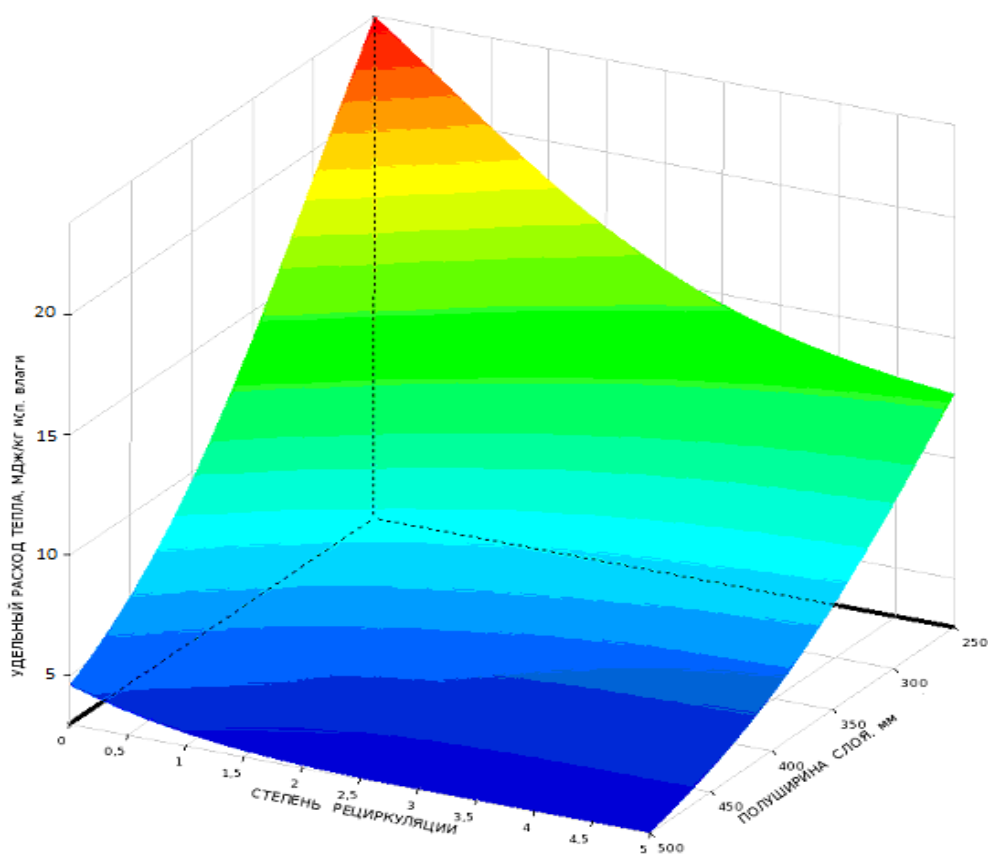


Рис.4. Зависимость удельных затрат тепла от степени рециркуляции и полуширины слоя тресты при температуре воздуха 80°C

Обращает на себя внимание резкий рост удельных затрат тепла со снижением ширины слоя. Так, при отсутствии рециркуляции снижение полуширины слоя до 250 мм (степень заполнения транспортера 50%) приводит к росту затрат тепла до 23 МДж/кг, а при степени рециркуляции 5 – до 12,5 МДж/кг. Таким образом, повышение степени рециркуляции хотя и снижает удельные затраты тепла, но не может в сколько-нибудь существенной степени компенсировать вариацию ширины слоя.

В отношении влияния температуры сушильного агента, расчеты показали, что при полном заполнении транспортера трестой удельные затраты тепла почти не зависят от температуры (рис. 5). При уменьшении ширины слоя рост температуры сушки несколько уменьшает затраты тепла, однако, они остаются неприемлемо высокими.

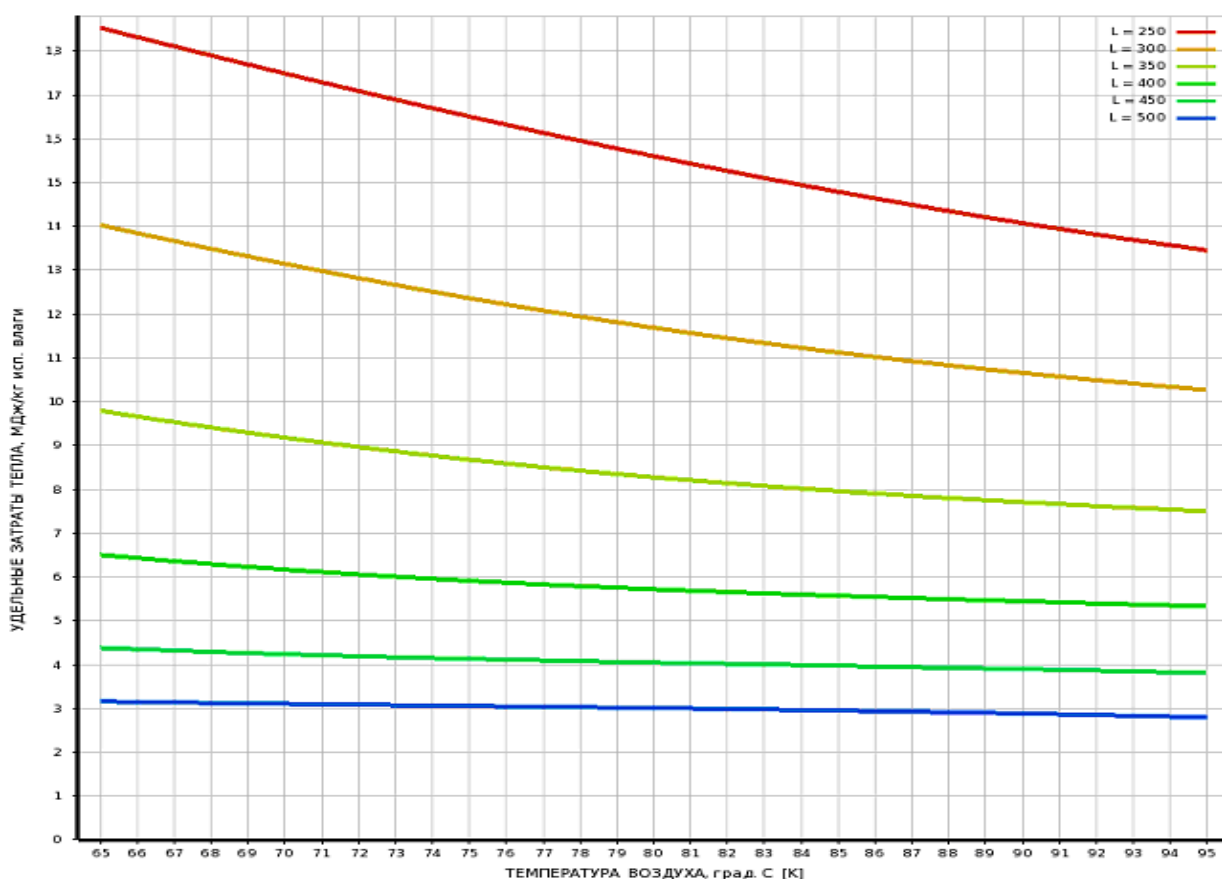


Рис.5. Зависимость удельных затрат тепла от температуре воздуха и полуширины слоя тресты при степени рециркуляции  $n=4$

## ВЫВОД

Моделирование процесса сушки льняной тресты при схеме продувки слоя, соответствующей машине СКП-1-10ЛУ показало, что повышение степени рециркуляции и температуры сушки не позволяют компенсировать отрицательного влияния вариации ширины слоя на удельные затраты тепла. Это предъявляет повышенные требования к однородности слоя тресты при конвейерной сушке.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков Э.В. Оборудование для сушки лубоволокнистых материалов: конструкции и расчёты : учебное пособие / Э.В.Новиков. – Кострома : Изд-во КГТУ, 2009.– 123 с.
2. Пашин Е. Л., Киселёв Н. В., Иванов Е. Э. Исследование параметров сушки слоя, влияющих на эффективность сушки льняной тресты // Вестник КГТУ.– №1.– 2012.– С. 8–11.
3. Пашин Е. Л. Исследование распределения скорости теплоносителя по ширине транспортера при сушке тресты /Е.Л.Пашин, Е.Э.Иванов, Н.В.Киселев.– Вестник КГТУ.– № 1 (30).–2013.– С. 9–11.
4. Васильев Ю.В. Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты: дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.13, 05.19.02.– Кострома, 2013.