

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВЧ-СУШКИ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ*

THE STUDIES OF FLAX STOCKS MICROWAVE DRYING PROCESS

Д.В.ПОТАПОВ, Н.В.КИСЕЛЕВ
D.V.POTAPOV, N.V.KISELEV

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

Приведены результаты исследований процесса СВЧ-сушки льняной тресты на экспериментальном стенде с продувкой холодным воздухом для предотвращения перегрева материала на заключительном этапе сушки.

The results of research of the microwave flax stalks drying in the experimental installation with cold air blowing to prevent overheating of the material in the final stages of drying are considered.

Ключевые слова: микроволновая сушка, льняная треста, скорость сушки, удельные затраты энергии.

Keywords: microwave drying, flax stalks, drying speed, cost per unit of electric power.

Плохое качество заготавливаемой льно-тресты, потеря значительной части урожая, достигающая до 40...50%, связаны с неблагоприятными погодными условиями и несоблюдением сроков уборки [1]. Наиболее надежным способом решения этой проблемы является искусственная досушка льняной тресты [2] непосредственно в рулонах комбайновой уборки.

Существенным преимуществом микроволновой сушки влажных диэлектрических материалов, по сравнению с конвективной, являются высокая интенсивность и равномерность сушки, обусловленная тем, что энергия СВЧ-поля нагревает непосредственно содержащуюся в материале влагу, а не сам материал, так как их коэффициенты диэлектрических потерь различаются более чем на порядок [3], [4]. В связи с этим изучение возможности и особенностей процесса микроволновой сушки льняной тресты представляет значительный

интерес. Для решения поставленной задачи был создан автоматизированный экспериментальный стенд на базе микроволновой печи SE1070R (рис. 1 – схема экспериментальной установки: 1 – образец тресты; 2 – привод; 3 – перфорированная труба; 4 – подвод воздуха; 5 – СВЧ-камера).

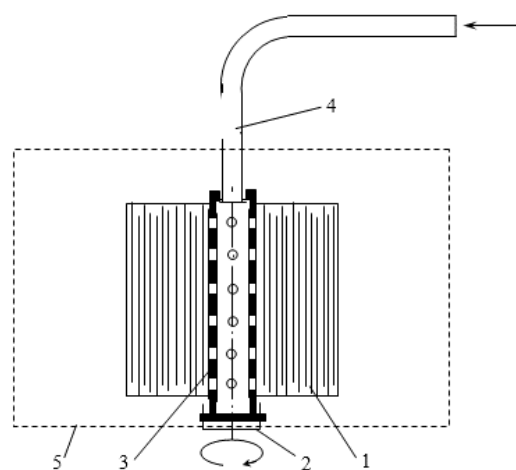


Рис. 1

* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки, код проекта 1092.

Особенностью экспериментальной установки является то, что ее конструкция позволяет осуществлять охлаждение образца тресты для предотвращения его перегрева на заключительных этапах сушки путем продувки воздуха миникомпрессором в радиальном направлении. Воздух подводится в центр образца через пластиковую трубку с отверстиями. Для повышения равномерности СВЧ-нагрева образца ему придается вращение от двигателя вращения поддона микроволновой печи.

Удельный расход энергии на испарение влаги рассчитывается исходя из времени сушки, подводимой мощности СВЧ и количества влаги, испаренной из данного образца, определяемой по разности его веса до и после сушки.

Целью экспериментальных исследований являлось изучение зависимости скорости сушки от влажности тресты, оценка удельных затрат энергии и возможности избежать обугливания тресты на заключительной фазе сушки за счет неравномерного СВЧ-нагрева в силу неоднородности электромагнитного поля и недостаточного теплоотвода из внутренних областей образца.

Образцы льняной тресты диаметром 60...70 мм, высотой 170 мм, начальной влажностью 80...135% и средней плотностью 140...155 кг/м³ подвергались СВЧ-сушке до влажности не более 20%. Средняя мощность СВЧ, подводимая к камере, составляла 600 Вт, скорость вращения образца с приводом от двигателя вращения поддона ~5 об/мин. Расход воздуха при продувке образца составлял 1,6 л/с.

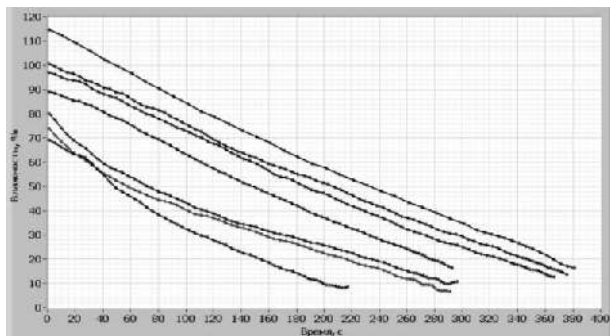


Рис. 2

Полученные кривые при СВЧ-сушке образцов льняной тресты приведены на графиках рис. 2. Видно, что, в отличие от конвективного способа [5], при СВЧ-сушке скорость сушки слабо зависит от влажности. Для исключения влияния на результаты сушки неодинаковых уровней начальной влажности использован алгоритм "отсечки" исходных данных с влажностью более 50%. Тресту с большей влажностью заведомо нецелесообразно подвергать СВЧ-сушке, она должна досушиваться до формирования рулонов в естественных условиях. Полученные кривые сушки образцов при одинаковой влажности приведены на рис. 3.

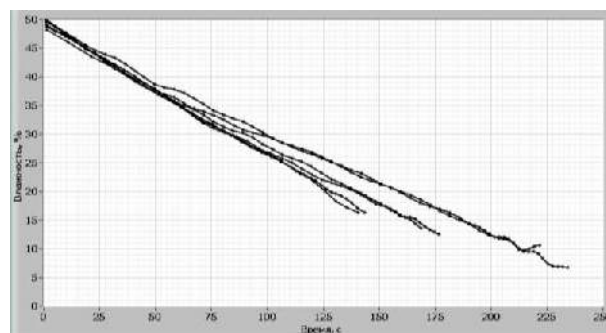


Рис. 3

Изменение скорости сушки изучалось путем непосредственного численного дифференцирования сглаженных кривых сушки в каждом из опытов. Для выявления периода падающей скорости сушки кривые сушки аппроксимировались показательной функцией общего вида:

$$y = a_0 + a_1 a_2^{-a_3 x}. \quad (1)$$

Однако все коэффициенты регрессии оказались незначимыми, что объясняется значительной погрешностью численного дифференцирования кривых сушки. В связи с этим в дальнейшем скорость сушки рассчитывалась по сглаженной обобщенной кривой сушки, полученной после обработки всех опытов.

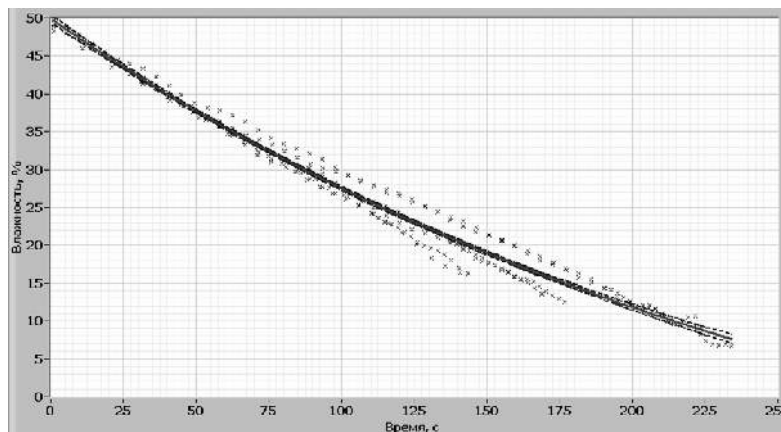


Рис. 4

Обобщенная кривая с доверительными интервалами приведена на рис. 4 (аппроксимация кривой сушки образцов показательной функцией).

Соответствующее уравнение регрессии имеет вид:

$$y = -25,17 \pm 7,4 + (75,09 \pm 7,04) \cdot (0,695 \pm 89000)^{-(0,00974 \pm 3450)x}, \quad (2)$$

где y – влажность, %; x – время сушки, с.

Из уравнения (2) следует, что коэффициенты, определяющие показательный характер кривой, оказались незначимыми при доверительной вероятности 0,95.

После аппроксимации кривых сушки линейной функцией получено уравнение:

$$y = 47,08 \pm 0,45 - (0,1831 \pm 0,0037)x. \quad (3)$$

В уравнении (3) все коэффициенты значимы при доверительной вероятности 0,95. Дифференцирование этого уравнения дает значение скорости сушки 0,183%/с, которая в условиях опытов остается практически постоянной. Это свидетельствует о том, что массообмен при СВЧ-нагреве происходит с интенсивностью, определяемой лишь подводимой мощностью и не ограничивается скоростью диффузионного влагопереноса, по крайней мере, до влажности тресты 10%, что позволяет сократить время сушки.

Оценка удельного расхода тепла на испарение влаги показала, что в условиях эксперимента оно составило 4087 ± 962 кДж/кг влаги (по подводимой мощности СВЧ). Следует отметить, что при малом заполнении камеры трестой, имевшем место в ходе опытов, трудно рассчитывать на высокий

к.п.д. СВЧ-тракта установки в силу отсутствия согласования генератора и нагрузки. В результате существенная часть энергии возвращается к магнетрону и рассеивается в нем в виде тепла. Тем не менее, полученное значение удельных затрат тепла на килограмм испаренной влаги не превышает уровня этого показателя для существующих установок СВЧ-сушки древесины. Так, установка СВЧ-ЛЕС потребляет 207 кВт·ч электроэнергии на кубометр высушенной древесины при загрузке $7,7 \text{ м}^3$, при этом из материала удалено 931 кг влаги [6], что дает значение 6163 кДж/кг испаренной влаги. При типовом к.п.д. магнетрона 75% по затратам СВЧ-энергии получаем 4622 кДж/кг испаренной влаги. Коэффициент полезного действия магнетрона для СВЧ-нагрева в настоящее время уже достигает 85% [7]. Кроме того, эффективность использования электроэнергии в сушильных установках СВЧ повышается при использовании тепла, рассеивающегося на магнетроне, для получения горячей воды для технологических и бытовых нужд.

Результаты экспериментов также показали, что при конечной влажности тресты на уровне 10...20% охлаждение тресты путем продувки воздухом и вращение образца для компенсации неоднородности поля в

камере позволили избежать случаев локального перегрева и обугливания тресты на заключительном этапе сушки.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что при сушке льняной тресты в диапазоне влажности 10...50% период падающей скорости сушки отсутствует, что позволяет интенсифицировать процесс.

2. Удельные затраты тепла на килограмм испаренной влаги при сушке тресты не превышают аналогичный показатель при СВЧ-сушке древесины.

3. При конечной влажности тресты на уровне 10...20% охлаждение тресты путем продувки воздухом и вращение образца для компенсации неоднородности поля в камере позволяют избежать случаев локального перегрева и обугливания тресты на заключительном этапе сушки.

ЛИТЕРАТУРА

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

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

3. *Гареев Ф.Х.* Проблемы и перспективы СВЧ-сушки древесины // ЛПИ. – 2004, №1. С.50...52.

4. *Гареев Ф.Х.* Сушка древесины электромагнитными волнами // ЛПИ. – 2004, №9. С.74...78.

5. *Васильев Ю.В.* Совершенствование технологии и оборудования для сушки стланцевой льняной тресты: Дис. ... канд. техн. наук. – Кострома, 2013.

6. Сушильная установка СВЧ-ЛЕС [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://svch-tehnologii.ru/economika.html>

7. Магнетрон для СВЧ-нагрева [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/214/2143767.html>

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 26.09.14.