

УДК 633.854.54:631.365.2

Ю.Ф. Лачуга

*(Россельхозакадемия,
г. Москва, Российская Федерация)*

М.М. Ковалев, А.П. Апыхин

*(ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии,
г. Тверь, Российская Федерация)*

В.П. Чеботарев, В.М. Изонтко

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»),
г. Минск, Республика Беларусь)*

А.В. Новиков, Т.А. Непарко

(УО «БГАТУ», г. Минск, Республика Беларусь)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЛЬНЯНОГО ВОРОХА

Введение

Сушка льняного вороха является одной из самых энергоемких технологических операций в процессе получения семян льна. Наиболее экономичная противоточная карусельная сушилка СКМ-1 потребляет 75,9 кг жидкого топлива и 88,7 кВт/ч электроэнергии на одну тонну высушенного льновороха [1]. Поэтому в условиях постоянного удорожания энергоресурсов задача улучшения топливной экономичности сушилок льновороха является одной из наиболее актуальных в производстве льносемян.

Основная часть

Известны различные способы и средства повышения эффективности сушки льновороха, включающие, например, выбор оптимального режима, реверсию подачи сушильного агента, использование отработанного сушильного агента для предварительного подсушивания материала [2]. Известно также, что повышение эффективности процесса сушки достигается путем применения вибрационных воздействий. По закону Фурье [3], величина теплового потока Φ от источника тепла к нагреваемому материалу определяется согласно уравнению:

$$\Phi = \alpha F \Theta_{cp}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.})$;

F – действительная активная поверхность, через которую осуществляется теплообмен, м^2 ;

Θ_{cp} – средняя разность температур теплоносителя и нагреваемого материала, град.

Из уравнения (1) следует, что процесс теплообмена может быть интенсифицирован тремя путями:

- повышением средней разницы температур Θ_{cp} ;
- увеличением поверхности теплообмена F ;
- увеличением коэффициента теплообмена α .

Первое направление для льняного вороха неприемлемо из-за необходимости сохранения физиологических свойств семян льна (температура теплоносителя не должна превышать 45 °С). Второе направление – увеличение поверхности теплообмена – связано с усложнением и утяжелением сушильных устройств, что приводит к повышению их стоимости.

Наиболее перспективным является третье направление. Анализ работ в области исследования тепло- и массообмена различных тел показал, что при определенных параметрах вибрация увеличивает тепло- и массообмен тел со средой в 5...25 раз по сравнению с процессами, протекающими без вибрационного воздействия.

Существует два способа вибрационного воздействия для интенсификации процессов тепло- и массообмена: на среду (в данном случае воздушную), в которой находится высушиваемый продукт, и на сам продукт. Второй способ, получивший название «виброкипящий слой», применяют для сушки сыпучих и волокнистых материалов.

Выбор частоты и амплитуды вибрации в соответствии с физико-механическими свойствами материала позволяет создавать оптимальные условия для процессов, протекающих в слое материала. Диапазон исследуемых частот находится в пределах 5...250 Гц. При этом критерий Нуссельта N_H , характеризующий увеличение интенсивности теплообмена вследствие конвекции в сравнении с чистой теплопроводностью в покоящейся среде, определяется по формуле [3]:

$$N_H = A \frac{B}{\sqrt{\omega D}}, \quad (2)$$

где A – коэффициент, зависящий от формы тела;

B – амплитуда изменения скорости, м/с;

ω – циклическая частота, с⁻¹;

D – коэффициент температуропроводности, м²/с.

При постоянных значениях величин A и D интенсивность теплообмена прямо пропорциональна величине изменения скорости и обратно пропорциональна корню квадратному из циклической частоты. То есть необходимо стремиться к увеличению скорости и снижению частоты.

Наряду с рассмотренным способом интенсификации заслуживает внимания так называемый «циклический режим сушки», предложенный и обоснованный в работе [4].

Для исследования влияния параметров колебательного процесса на эффективность процесса сушки льняного вороха была изготовлена экспериментальная лабораторная установка (рисунок 49).

Установка включала вентиляторный блок 1, электрокалорифер 2, воздухопроводы 3, воздухораспределительную решетку 4, сушильную камеру 5, подвижную 6 и неподвижную 7 рамы, дебалансовый вибратор 8,

электродвигатель 9. Подвижная рама 6 была подвешена внутри неподвижной рамы 7 на виброизоляторах 10.

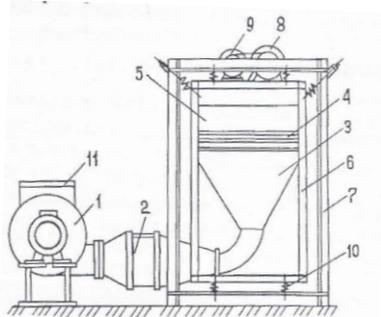


Рисунок 49 – Схема экспериментальной лабораторной установки

Производительность вентилятора регулировалась шибером 11. Диапазон регулирования температуры – от 12 до 200 °С, интервал – 12 °С. Диапазон регулирования рабочей частоты вибратора составлял 16, 24 и 48 Гц и обеспечивался сменными шкивами. Регулировка возмущающей силы в дебалансовом вибраторе осуществлялась с помощью сменных грузов (дисбалансов), путем изменения их радиуса вращения.

Приборное обеспечение эксперимента было следующим: для измерения температуры – жидкостные термометры и милливольтметр Ц 4541/1 в комплекте с теплопреобразователем сопротивления 50 П; расхода воздуха – ручной анемометр; параметров вибрации – виброметр ВМ-1 с набором вибропреобразователей; шума – импульсный шумомер PS-1-202; влажности образцов – сушильный шкаф СШ-300.

Для проведения эксперимента сырой ворох загружался в сушильную камеру 5 (рисунок 49), затем включался калориферный блок 2. Нагретый до 50 °С воздух вентилятором 1 по воздуховодам 3 подавался через решетку 4 в сушильную камеру 5. Одновременно с подачей воздуха включался электродвигатель 9, который через клиноременную передачу приводил в движение вибратор 8. Возникающие при этом виброколебания станины 6 через решетку 4 передавались высушиваемому льновороху. Необходимая интенсивность воздействий на материал достигалась путем установки требуемых для этого частоты и амплитуды колебаний.

В результате поисковых опытов была отработана методика проведения эксперимента: способ доувлажнения льновороха, масса навески, время сушки, температурный и скоростной режимы.

В процессе проведения эксперимента контролировались: влажность и масса материала до и после сушки, плотность загрузки материала в сушильную камеру, температура и скорость теплоносителя, время сушки, масса испаренной влаги. Сушка льновороха осуществлялась при температуре теплоносителя на входе в материал, равной 45 °С, а его скорость составляла 0,4...0,5 м/с.

Критериями оценки процесса сушки являлись: количество испаренной влаги в единицу времени и расход теплоносителя.

Результаты экспериментов представлены в таблице 11 и графически на рисунке 50.

Таблица 11 – Показатели процесса сушки с вибрацией слоя льновороха

Наименование показателей	Режимы сушки		
	без вибрации (стандартный)	с вибрацией, частотой (Гц):	
		48 и амплитудой 3 мм	16 и амплитудой 5 мм
Время сушки, мин.	120	95	89
Масса льновороха, кг:			
до сушки	20	20	20
после сушки	8,65	8,6	8,8
Масса испаренной влаги, кг	11,35	11,4	11,2
Затраты тепловой энергии, ккал	17365,5	13737	12600
Удельные затраты тепловой энергии, ккал/кг испаренной влаги	1530	1205	1125
Средняя влажность льновороха, %:			
до сушки	62	62	62
после сушки	10	10,2	10,3

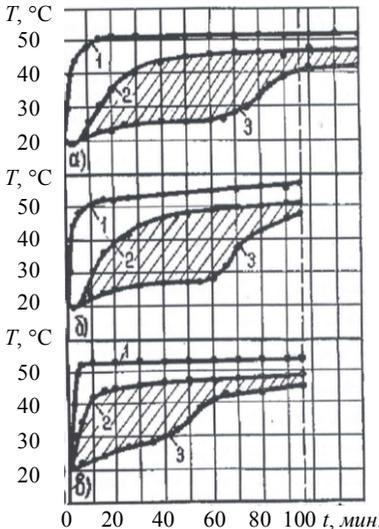


Рисунок 50 – Зависимость температуры теплоносителя от времени сушки при: стандартном режиме (а); с наложенной вибрацией 48 Гц и амплитудой 3 мм (б); с наложенной вибрацией 16 Гц и амплитудой 5 мм (в). Температура: в электрокалорифере (1); низа (2), верха (3) слоя льновороха

Анализ температурных кривых (рисунок 50) показал, что при наложении вибраций на льноворох в процессе сушки имеет место более быстрое повышение температуры как в нижней, так и в верхней части его слоя, а также происходит сдвиг начала и конца роста температуры верха слоя в сторону меньших значений времени сушки, т.е. сокращается время сушки. При этом процесс сушки материала с вибрацией частотой 16 Гц и амплитудой 5 мм более эффективен, чем проведенный при частоте 48 Гц и амплитуде 3 мм. В этом случае удельные затраты энергии на испарение влаги из льновороха в сравнении с сушкой в стандартном режиме уменьшились соответственно на 26,5 % и 21,2 %.

Таким образом, с ростом амплитуды и снижением частоты эффективность колебательного процесса на интенсивность сушки льновороха возрастает.

По строению ткани сельскохозяйственная продукция относится к коллоидным капиллярно-пористым телам. Льноворох и другие материалы лубяных культур, являющиеся коллоидными телами, термоизлучением сушатся хуже, чем тела капиллярно-пористые. Поэтому в работе [4] сушку таких тел рекомендуется осуществлять в циклическом режиме с переменной температурой от максимально возможной для конкретного материала до минимальной (температуры окружающего воздуха). Этот способ наиболее пригоден для материалов с длительным циклом сушки, к которым относятся и льноворох.

Эксперименты по сушке льновороха проведены с циклической (периодической) сменой температуры теплоносителя от максимально возможной (45 °С) на входе в слой до минимальной (20 °С), равной температуре окружающего воздуха в помещении в период охлаждения высушиваемого материала. В эксперименте циклический режим сушки льновороха проводился в двух вариантах: с одинаковым и с разным соотношением времени продувки материала горячим и холодным воздухом (таблица 12).

Таблица 12 – Режимы и варианты сушки льновороха

Циклы сушки льновороха	Режимы сушки		
	циклический		стандартный
	варианты сушки:		
	I	II	контрольный
Продувка слоя льновороха воздухом, мин.			120 (горячим воздухом)
I цикл: горячим	30	40	
холодным	10	10	
II цикл: горячим	30	30	
холодным	10	10	
III цикл: горячим	30	20	
холодным	10	10	

В первом варианте сушки в каждом цикле продувка слоя проводилась в течение 30 мин. горячим и 10 мин. холодным воздухом. Во втором варианте сушки продувка слоя в каждом цикле проводилась при уменьшающемся периоде времени (40, 30 и 20 мин.) горячим воздухом и при постоянном (10 мин.) – холодным воздухом. Повторность опытов – четырехкратная. Контрольными вариантами являлась сушка льновороха в стандартном режиме. Результаты эксперимента приведены в таблице 13.

Анализ данных таблицы 13 показывает, что применение циклического режима сушки обеспечивает экономию теплоносителя в первом варианте на 14 %, а во втором – на 26 % в сравнении со стандартным режимом сушки.

Таблица 13 – Показатели процесса сушки льновороха в циклическом режиме

Наименование показателей	Режимы и варианты сушки:			
	циклический	стандартный	циклический	стандартный
	I вариант	контроль	II вариант	контроль
Масса льновороха, кг:				
до сушки	20	20	20	20
после сушки	14,2	14	15,1	14,8
Масса испаренной влаги, кг	5,8	6	4,9	5,2
Средняя влажность льновороха, %				
до сушки	57	57	42	42
после сушки	10,1	9,8	8,2	8
Время сушки, мин.:				
в том числе	120	120	120	120
горячим воздухом	90	120	90	120
холодным воздухом	30	–	30	–

Таким образом, наиболее предпочтительным является II вариант циклического режима сушки льновороха, осуществляемый с уменьшающимся во времени периодом продувки слоя горячим и с постоянным периодом времени его продувки холодным воздухом.

Выводы

1. Интенсификация процесса сушки льновороха может достигаться путем применения вибрационных воздействий на льноворох, а также его сушки в циклическом режиме, что позволяет сократить время протекания процесса и уменьшить энергозатраты. При этом наиболее эффективно влага удаляется при совмещении циклической сушки с вибрацией обрабатываемого материала.

2. Исходя из практической сложности реализации устройства с вибрацией обрабатываемого материала, наиболее целесообразно применение сушки льновороха в циклическом режиме, с уменьшающимися по циклам во времени периодами продувки слоя горячим воздухом, и с постоянным в периоде времени продувки холодным воздухом. Это обусловливается минимальными затратами времени и средств на внедрение в производство как на действующих, так и на вновь создаваемых сушилках.

3. Результаты исследований позволяют рекомендовать следующие рациональные параметры процесса сушки льновороха:

- а) по колебательному процессу – частоту 16 Гц, амплитуду 5 мм;
- б) по цикличности воздействия на обрабатываемый материал – с уменьшающимся по циклам во времени периодом продувки слоя горячим и постоянным периодом времени его продувки холодным воздухом, например, в соотношении 4:1, 3:1, 2:1, 1:1 соответственно.

23.08.12

Литература

1. Зеленко, В.И. Карусельные сушилки / В.И. Зеленко. – Тверь: ОГУП «Тверское областное книжно-журнальное издательство», 2002. – 192 с.
2. Зеленко, В.И. Конвективная сушка сельскохозяйственных материалов в плотном слое. Основы теории / В.И. Зеленко. – Тверь: Тверское областное книжно-журнальное издательство, 1998. – 96 с.
3. Членов, В.А. Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 223.
4. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.

УДК 631.563.2:677.11

М.М. Ковалев, А.Г. Тарлецкий
(ГНУ ВНИИМЛ Россельхозакадемии,
г. Тверь, Российская Федерация)

В.П. Чеботарев, В.М. Изонтоко
(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

А.В. Новиков, Т.А. Непарко
(УО «БГАУ», г. Минск, Республика Беларусь)

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНЯНОГО ВОРОХА

Введение

Комбайновая технология уборки льна, применяемая в Российской Федерации и Республике Беларусь, имеет существенный недостаток: необходимость выполнения энергоемкой и дорогостоящей технологической операции, заключающейся в сушке льняного вороха. В настоящее время эта технологическая операция выполняется на сушильных комплексах КСПЛ-0,9.

Общая масса оборудования комплекса КСПЛ-0,9 составляет 28 т, а стоимость комплекса, включая здание, по сложившимся ценам – не менее 8 млн российских рублей. По существу сушильный комплекс представляет собой небольшой завод, который работает в году только 15...20 дней. При уборке льна в фазе желтой спелости для сушки вороха с 1 га на КСПЛ-0,9 требуется не менее 80 кг жидкого топлива и около 90 кВт·ч электроэнергии. В целом энергозатраты на сушку вороха более чем в 1,5 раза превышают затраты энергии на выполнение всех остальных операций по возделыванию и уборке льна. При уборке льна в фазе ранней желтой спелости, когда ворох имеет влажность 50...60 %, стоимость энергоносителей, расходуемых на сушку, достигает 7 тыс. российских рублей на тонну семян.

С учетом стоимости всех ресурсов расходы на получение тонны семян при уборке льна в фазе ранней желтой спелости превышают их ры-