

УДК 633.521:631.365.29

*В.А. ШАРШУНОВ, В.Е. КРУГЛЕНЯ, А.Н. КУДРЯВЦЕВ,  
А.С. АЛЕКСЕЕНКО, В.И. КОЦУБА*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ЛЬНОВОРОХА ДВУХЪЯРУСНОЙ КАРУСЕЛЬНОЙ СУШИЛКОЙ С РЫХЛЕНИЕМ И ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

*Белорусская государственная сельскохозяйственная академия*

*(Поступила в редакцию 05.07.2005)*

Энергозатраты на послеуборочную обработку и хранение семян льна достигают 25–30 % от общих затрат на его производство, а на сушку – 60–70 % этих затрат [1, 2]. Наиболее перспективна для сушки льновороха карусельная противоточная сушилка СКМ–1, производительность которой составляет 0,9 т/ч по сухому материалу при влажности льновороха 45 %. СКМ–1 расходует на 1 т льновороха в 3–4 раза меньше топлива, чем сушилки напольного типа и, при одинаковой мощности топок, в 3–4 раза производительней [3]. Однако для ее работы требуется более 160 кг/га условного топлива, так как попутно сушке подвергаются стебли льна, сорняки и примеси. Кроме того, при сушке наблюдаются значительные потери тепловой энергии в окружающую среду.

Для повышения производительности, уменьшения потерь теплоты и снижения неравномерности сушки льновороха, а также для снижения расхода топлива специалистами БГСХА предложена схема модернизации сушилки СКМ–1, на которую получен патент [4].

Проведены исследования льновороха, который представляет собой сложную по составу, малосыпучую смесь из семенных коробочек, свободных семян льна, мякоти и путанины (обрывков и целых стеблей льна и сорняков) (табл. 1). Состав вороха зависит от полеглости льна, его спелости, режимов работы льнокомбайна и других факторов.

**Состав и влажность компонентов льняного вороха**

Показатель	Значение, %
Состав вороха по весу:	
семенных коробочек	20–80
свободных семян льна	2–25*
путанины	5–35
прочих примесей	10–40
Содержание семян льна в ворохе	20–55
Влажность:	
вороха	25–65
стеблей льна и сорняков	40–80
свободных семян	20–30

\* Больше семян содержится в льноворохе полной спелости.

Анализ полученных данных показывает, что содержание семян в ворохе составляет в среднем 35%, все остальное (65%) – это примеси, как правило, недостаточно используемые в дальнейшем производстве, хотя по научным данным [5] они имеют значительную (0,50–0,56 к.ед.) питательную ценность и могли бы, после некоторой доработки, быть хорошим подспорьем в питательном рационе сельскохозяйственных животных. Вторым, не менее значительным, а с точки зрения снижения энергоемкости процесса сушки он носит приоритетный характер, является вывод о том, что влажность посторонних примесей льновороха составляет в среднем 45%, а семенного материала – 25%. Эти результаты являются предпосылкой для принятия

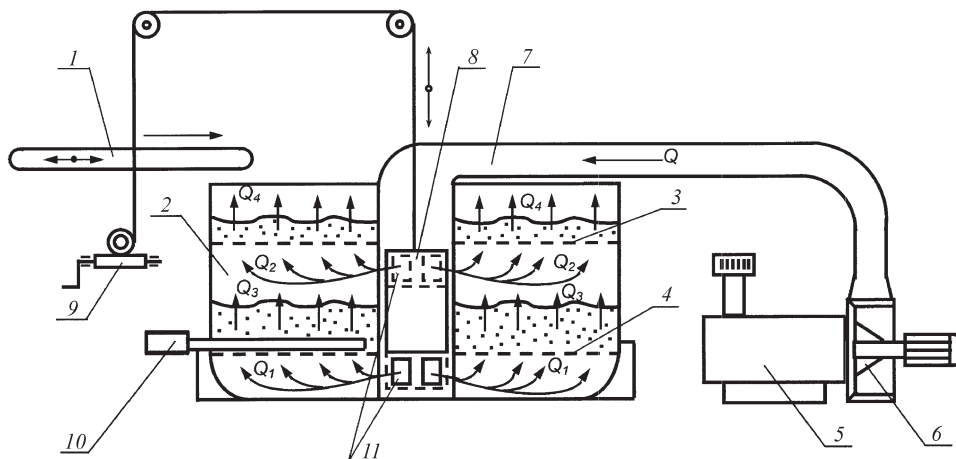


Рис. 1. Схема усовершенствованной карусельной сушилки СКМ-1: 1 – загрузочное устройство; 2 – кольцевая сушильная камера; 3, 4 – верхняя и нижняя решетчатые платформы; 5 – топочный агрегат; 6 – вентиляционный блок; 7 – воздуховод; 8 – распределительный клапан; 9 – подъемное устройство; 10 – выгрузное устройство; 11 – окна в воздуховоде

решения о введении технологической операции по выделению длинностебельных примесей из состава льновороха перед его досушиванием.

С целью снижения энергозатрат грубый льноворох выделяют перед сушкой с помощью переоборудованного зерноуборочного комбайна или молотилки МВ-2,5А [2].

Для эффективной сушки мелкой фракции льновороха в сушилке СКМ-1М устанавливают вторую вращающуюся решетчатую платформу выше загруженного слоя вороха (рис. 1). В результате отработавший на нижней платформе агент сушки используется для предварительного подогрева и удаления поверхностной влаги из загружаемого на верхнюю платформу льновороха [2].

Сушильная установка работает следующим образом. Льноворох загружается на нижнюю, а после ее заполнения на верхнюю сушильные платформы. Агент сушки от теплогенератора поступает под нижнюю платформу. Отработавший на нижней платформе агент сушки используется для предварительного подогрева влажного льновороха на верхней платформе. Ворох, загруженный на нижнюю платформу, досушивается до кондиционной влажности и выгружается, а подсушенный ворох с верхней платформы перегружается на нижнюю, далее процесс повторяется. Расход агента сушки регулируется жалюзийной заслонкой на теплогенераторе. Распределительный клапан в воздуховоде позволяет изменять от нуля до максимума распределение агента сушки под нижнюю или верхнюю решетчатые платформы. Чтобы обеспечить равномерность сушки, материал рыхлят и перемешивают в процессе сушки с помощью рыхлителя-разравнивателя (рис. 2), устанавливаемого в виде клинообразного кожуха на выгрузной фрезе [1].

Рыхлитель-разравниватель вороха противоточной карусельной сушилки состоит из клинообразного кожуха, установленного на выгрузную фрезу сушилки 2.

Технологический процесс работы рыхлителя-разравнивателя осуществляется следующим образом. По истечении некоторого времени после начала сушки выгрузная фреза 2 с установленным на ней рыхлителем-разравнивателем 1 вводится в сушильную камеру, образованную наружным 3 и внутренним 4 ограждениями, через окно в наружном ограждении при остановленной платформе 5 сушилки, после чего платформа 5 приводится во вращение. Так как в процессе сушки ворох 6 досушивается неравномерно и представляет собой до перемешивания – в зоне (а) – несколько элементарных слоев различной влажности, общей высотой  $h_1$ . Причем нижний слой I имеет минимальную влажность, слой II – среднюю и верхний слой III – максимальную влажность. В зоне (б) контакта вороха с рыхлителем-разравнивателем 1 происходит деформация и вспушивание слоев, которая увеличивается в зоне (в) при движении вороха по рабочей поверхности рыхлителя-разравнивателя. Ссыпаясь с рабочей поверхности рыхлителя-разравнивателя в зоне перемешивания (г) разрыхленный ворох IV под воздействием нестесненного потока агента сушки интенсивно перемешивается.

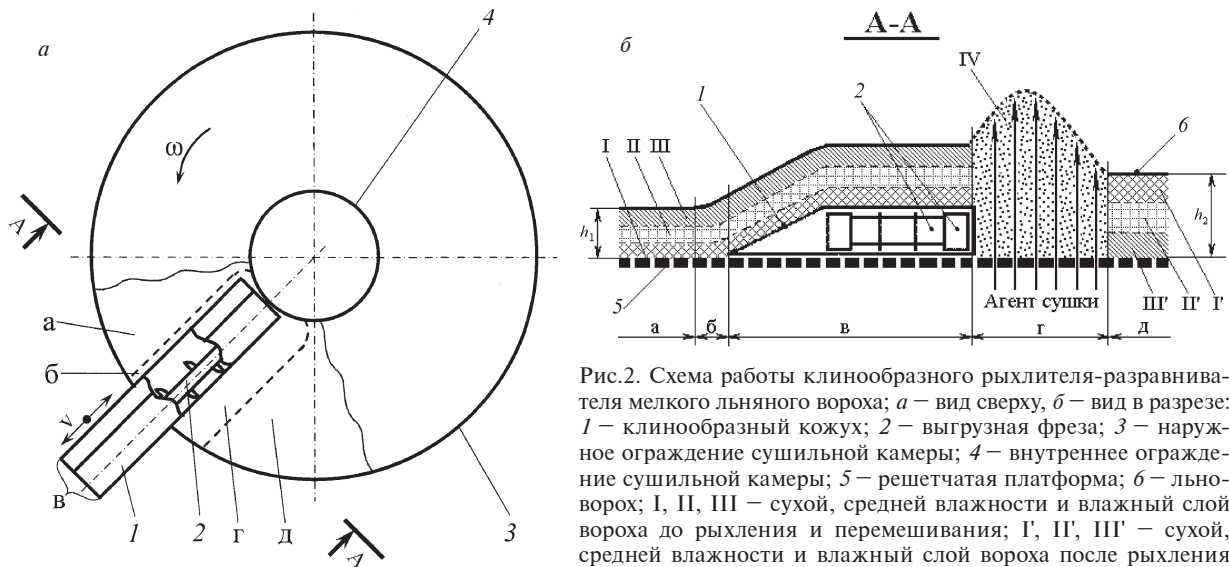


Рис.2. Схема работы клинообразного рыхлителя-разравнивателя мелкого льняного вороха; *a* – вид сверху, *б* – вид в разрезе: 1 – клинообразный кожух; 2 – выгрузная фреза; 3 – наружное ограждение сушильной камеры; 4 – внутреннее ограждение сушильной камеры; 5 – решетчатая платформа; б – льноворох; I, II, III – сухой, средней влажности и влажный слой вороха до рыхления и перемешивания; I', II', III' – сухой, средней влажности и влажный слой вороха после рыхления и перемешивания; а – зона до рыхления и перемешивания

вороха; б – зона контакта вороха с рыхлителем-разравнивателем; в – зона движения вороха по рабочей поверхности рыхлителя-разравнивателя; г – зона перемешивания; д – зона оседания вороха

При этом нижний слой I – более сухой, а следовательно, имеющий меньшую скорость витания, поднимается выше, чем верхний, более влажный слой III. После выхода вороха из зоны перемешивания (г), на дно платформы 5 в зоне оседания (д) первым опускается более влажный слой III', затем слой средней влажности II' и последним – самый сухой слой I'. Таким образом, в зоне после рыхления (д) получается разрыхленный ворох высотой  $h_2 > h_1$ , при этом влажный ворох располагается возле дна платформы, а более сухой ворох – в верхнем слое, что позволяет более рационально использовать тепловую энергию агента сушки, что в итоге сокращает продолжительность сушки, препятствует пересушиванию вороха и, следовательно, снижает травмируемость семян при их переработке.

Исследования по определению времени досушивания в зависимости от высоты слоя вороха в сушильной камере проводились при средней влажности вороха  $W = 45\%$  и температуре сушильного агента  $42^\circ\text{C}$ . Полученные данные представлены на рис. 3.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что во всех случаях продолжительность сушки льновороха с перемешиванием на 13–17 % меньше, чем без перемешивания.

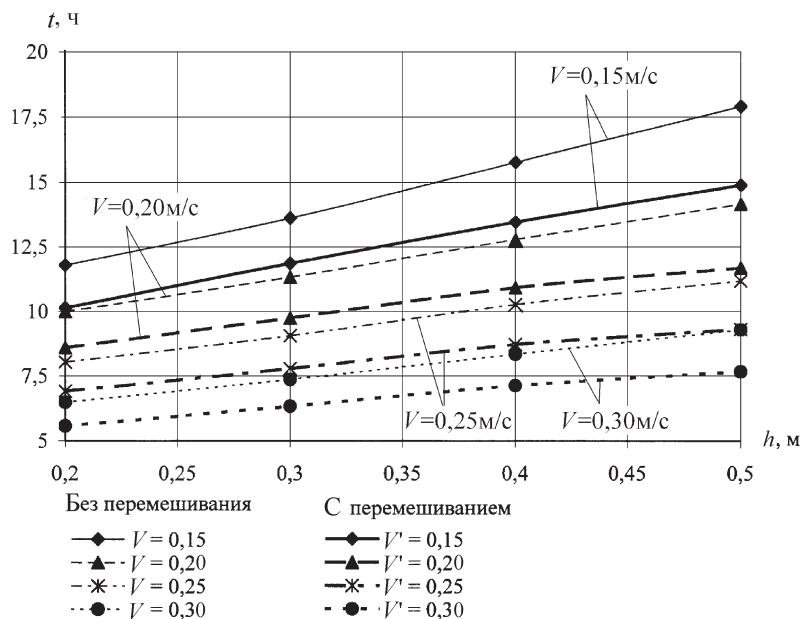


Рис. 3. Зависимость времени досушивания *t* (ч) от толщины слоя льняного вороха *h* (м) при различной скорости движения агента сушки *V* (м/с)

Это можно объяснить более равномерным, одновременным высыханием материала по всему объему за счет его перемешивания в отличие от более интенсивного высыхания нижнего слоя и медленного – верхнего слоя, когда сушка осуществляется без перемешивания. Таким образом, без перемешивания происходит пересыхание нижнего слоя за то время, когда досушивается до кондиционной влажности верхний слой. При этом, интенсивность процесса сушки с перемешиванием во всех опытах оказалась выше на 15–20 %. На наш взгляд, это можно объяснить более рациональным использованием тепловой энергии агента сушки за счет того, что при перемешивании происходит перераспределение материала внутри объема сушки и выравнивание его средней влажности и, что самое главное, разрушение так называемых «Окон», образуемых в слое в местах с меньшей плотностью материала. Их образование, как известно, приводит к пересыханию материала в зоне их расположения, снижению эффективности сушки в тех местах, где они отсутствуют. Это объясняется повышенной скоростью движения теплоносителя в зонах их расположения из-за более низкого сопротивления слоя.

Установлено также, что с увеличением толщины слоя интенсивность (скорость сушки) с перемешиванием возрастает в среднем на 24–29 %.

В результате исследований была получена математическая зависимость, позволяющая определить продолжительность сушки льняного вороха на модернизированной карусельной сушилке.

$$t = 1,04 \cdot 10^{-5} \frac{W^2}{V} (1 + 5h) \cdot (70 - T) ,$$

где  $W$  – начальная влажность льновороха, %;  $V$  – скорость движения агента сушки, м/с;  $h$  – толщина слоя, м;  $T$  – температура агента сушки, °С.

Эта формула может быть использована при проектировании сушилок, а также для выбора режима сушки в зависимости от влажности вороха, регулировки сушилок на выбранный режим, планирования их производительности и, в конечном итоге, согласованности технологического процесса уборки льна и переработки льновороха.

### Выводы

1. Предварительный подогрев льновороха на верхней решетчатой платформе позволяет существенно (на 15–20%) ускорить его досушивание, а перемешивание с выравниванием слоя увеличить на 40–50% производительность сушильной установки и снизить до 1,6 раза энергозатраты на досушивание.

2. Правильно выбранный режим сушки льняного вороха обеспечивает благоприятные условия для дозревания семян льна и сохранности их от порчи, что улучшит их посевные качества.

### Литература

1. Шаршунов В. А., Круглень В. Е., Кудрявцев А. Н. и др. Выбор и обоснование технологии переработки льновороха // *Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roslinnej / 9 INTERNATIONAL SIMPOZIUM*. Warszawa, 2002. С. 361–368.
2. Шаршунов В. А., Круглень В. Е., Алексеенко А. С. и др. Анализ взаимодействия слоя льновороха и рыхлителя-разравнивателя в карусельной сушилке СКМ-1 // *Ekologiczne aspekty mechanizacji produkcji roslinnej / 8 MIEDZYNARODOWE SIMPOZIUM*. Warszawa, 2001. С. 254–257.
3. Зеленко В. И. Пункт сушки льнопродукции. М., 1987.
4. Патент по полезную модель РБ №1559 F26B 3/02 /Двухъярусная противоточная карусельная сушилка / В.А. Шаршунов, В.Е. Круглень, А.С. Алексеенко и др. 2004.06.01.
5. Бортник С. А. Выделение кормовых материалов из отходов льноводства на стационарных молотилках: Дис. ... канд. техн. наук. Горки, 1992.

*V.A.SHARSHUNOV, V.E.KRUGLENJA, A.N.KUDRJA VTSEV, A.S.ALEKSEENKO, V.I. KATSUBA*

### RESEARCH OF PROCESS OF DRYING OF FLAX HEAP BY A TWO-STORY ROTARY DRUM DRYER WITH CULTIVATION AND HASHING

### Summary

Results of researches of the process of drying of flax heap at a two-story counter-flow rotary drum dryer have been presented. The second rotating trellised platform is installed above the loaded layer of a heap for effective drying a fine fraction of flax heap in dryer. As a result the working out agent on the bottom platform of drying is used for preliminary heating and removals of a surface moisture from loaded on the top platform flax heap.

To provide uniformity of drying a material is loosen and is mixed during drying with the help of the loosening device installed as casing on unloading cutter. Duration of drying flax heap with hashing is at 13-17 % less than without hashing.

Preliminary heating of flax heap on the top trellised platform allows essentially (at 15-20%) to speed up its drying, and hashing with leveling a layer to increase productivity of drying installation at 40-50% and to lower power inputs on drying to 1,6 times.