

УДК 66.0473

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАССОПЕРЕНОСА В ЗЕРНОВКЕ ПРИ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ СУШКЕ ЗЕРНА

Павлов С.А.*, канд. техн. наук;
Пехальский И.А., канд. техн. наук;

Марин Р.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: vim@vim.ru

При постоянном теплоподводе в начале процесса сушки интенсивность массоотдачи с поверхности зерновки превышает интенсивность подвода влаги из центра к поверхности. При этом градиент влагосодержания в зерновке увеличивается в большей степени, чем разница между равновесным влагосодержанием и влагосодержанием поверхности. В процессе сушки интенсивность массоотдачи уменьшается из-за подсушивания поверхностных слоев, градиент влагосодержания снижается, непрерывно углубляется фронт испарения, соответственно, уменьшается интенсивность процесса. Переменный теплоподвод при сушке семян и зерна позволяет интенсифицировать процесс при полном сохранении их качественных показателей. Обосновали параметры осциллирующей сушки. Изучили массоперенос в зерновке для трех режимов сушки: без отлежек, с отлежками после периода нагрева и отлежками после периода охлаждения. Сравнили эффективность осциллирующих режимов сушки с режимом сушки при постоянном теплоподводе. Массоперенос изучали в процессе сушки, определяя влажность зерновок и их частей – оболочки и ядра. Выявлены закономерности массопереноса, предложены оптимальные режимы осциллирующей сушки: (соотношение периодов «нагрев – охлаждение» равно 10:10 мин, отлежка в течение 15 мин после периода «нагрев»). Предложены физическая и математическая модели. Получено уравнение для расчета длительности отлежки. Рекомендовано использовать осциллирующий режим сушки с отлежками, продолжительность которых должна быть достаточной для перераспределения влаги в зерновках, что сохраняет качество семян и зерна. Наличие отлежек несколько затягивает (на 5 процентов при отлежке подогретого и на 10 процентов – неподогретого зерна) процесс сушки по сравнению с тем же режимом без отлежек, но позволяет снизить удельные затраты теплоты на 20-25 процентов. Установили, что при осциллирующем режиме целесообразно ограничиться длительностью отлежки, при которой влагосъем возрастает прямо пропорционально времени.

Ключевые слова: сушка зерна, массоперенос, осциллирующие режимы сушки.

■ **Для цитирования:** Павлов С.А., Пехальский И.А., Марин Р.А. Экспериментальные исследования массопереноса в зерновке при осциллирующей сушке зерна // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N4. С. 32-37.

EXPERIMENTAL STUDIES OF MASS TRANSFER IN CARYOPSIS AT GRAIN OSCILLATING DRYING

S.A. Pavlov*, Cand. Sci. (Eng.),
I.A. Pekhal'skiy, Cand. Sci. (Eng.),

R.A. Marin

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: vim@vim.ru

At a continual heatsupply at the beginning of drying process intensity of a mass transfer from a caryopsis surface exceeds intensity of moisture supply from its center to a surface. Thus the moisture content gradient in the caryopsis increases more than a difference between equilibrium moisture content and surface one. In the course of drying intensity of a mass tranfer decreases because of predrying of surface layers, the gradient of moisture content decreases, the front of evaporation continuously goes deep, respectively, intensity of process decreases. The variable heatsupply when seeds and grains drying allows to intensify process at full preservation of their quality indicators. The aythors proved parameters of oscillating drying and studied a mass transfer in a caryopsis for three drying modes: without lying, with lying after the heating period and lying after the cooling period. They compared efficiency of the oscillating drying modes to the drying mode at a continual heatsupply. The mass transfer was studied in the course of drying, humidity of a caryopsis and its

cover and kernel was defined. Regularities of a mass transfer are revealed, the optimum modes of oscillating drying are offered: (the proportion of the periods «heating – cooling» is equal 10:10 minutes, an 15 minutes lying after the period «heating»). Physical and mathematical models are offered. The equation for calculation of lying duration is received. It is recommended to use the oscillating mode of drying with lying which duration should be sufficient for moisture redistribution in the caryopsis that keeps quality of seeds and grain. The lying extends process of drying (by 5 percent for an lying warmed up grain and by 10 percent for not warmed up one) in comparison with the same mode without lying, but allows to lower specific costs of warmth by 20-25 percent. At the oscillating mode lying duration is expedient when moisture removal increases in direct ratio to time.

Keywords: Grain drying; Mass transfer; Oscillating modes of drying.

■ **For citation:** Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Marin R.A. Experimental studies of mass transfer in caryopsis at grain oscillating drying. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2016; 4: 32-37. (In Russian)

Совершенствование технологии и технических средств сушки семян и зерна остаются приоритетным для АПК России [1-3]. Теоретическим и экспериментальным вопросам осциллирующей сушки зерна посвящен ряд работ [4-9], в том числе предложены устройства для совершенствования технических средств метода [10,11]. Однако внутренний массоперенос практически не исследован.

Особенности строения зерновки – малый размер и анизотропность – создают большие трудности при теоретическом исследовании внутреннего массопереноса. Поэтому важное значение приобретают экспериментальные методы. Интенсивность испарения влаги с поверхности зерновки зависит от коэффициента диффузии влаги, определяющего скорость ее подвода из центральных слоев к поверхности, и коэффициента массоотдачи, характеризующего механизм перемещения влаги с поверхности зерновки в окружающую среду [5].

При непрерывном теплоподводе в начале процесса сушки интенсивность массоотдачи с поверхности зерновки превышает интенсивность подвода влаги из центра к поверхности. При этом градиент влагосодержания в зерновке увеличивается в большей степени, чем влагосодержание поверхности отличается от равновесного. В процессе сушки интенсивность массоотдачи уменьшается из-за подсушивания поверхностных слоев. Градиент влагосодержания в зерновке снижается, соответственно, уменьшается интенсивность процесса, непрерывно углубляется фронт испарения, увеличивается внутридиффузионное сопротивление.

При осциллирующей сушке в начальной стадии, когда преобладает внешний массообмен, целесообразно увеличивать температуру агента сушки и скорость фильтрации сушильного агента, так как зерно периодически охлаждается. Во втором периоде сушки при преобладании внутреннего массообмена перед внешним снижается интенсивность массоотдачи с поверхности зерновки. Для выравнивания полей ее влагосодержания и интенсифи-

кации внутреннего массопереноса целесообразна организация отлежек, в том числе при максимальной допустимой температуре нагрева зерна, что позволит интенсифицировать процесс сушки при сохранении качественных показателей зерна. Чтобы определиться с организацией и длительностью отлежек при переменном теплоподводе, необходимы экспериментальные исследования по изучению полей влагосодержания в зерновке.

Цель исследования – определение оптимальных режимов осциллирующей сушки, в ходе экспериментов по изучению массопереноса и длительности отлежек.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- исследование полей влагосодержания в зерновке для трех режимов осциллирующей сушки: без отлежек, с отлежками нагретого и охлажденного зерна;
- изучение механизма массопереноса в зерновке при этих режимах;
- обоснование физической и математической моделей для расчета длительности отлежек.

Материалы и методы. Программа работ предусматривала сушку увлажненного зерна пшеницы влажностью 20 и 24% в тонком слое (~10 мм) до 13-14% при следующих режимах:

- осциллирующий режим без отлежек с соотношением периодов нагрева и охлаждения 1:1 при экспозиции нагрева (охлаждения) 5, 10 и 20 мин;
- осциллирующий режим с отлежками длительностью 10, 20 и 40 мин после периодов нагрева и охлаждения с указанными выше экспозициями;
- режим с постоянной температурой агента сушки без отлежек.

Через каждые 2-5 мин вентилирования зерна агентом сушки или воздухом отбирали из кассеты навески зерна, срезали оболочки и определяли влажность частей зерновки, а также зерна. Причем масса взвешиваемых оболочек составляла не менее 0,5 г, масса ядер и зерновок – 5 г, взвешивание навесок из оболочек осуществлялось с погрешностью $\delta = \pm 1 \cdot 10^{-4}$ г, навесок из ядер и зерна – с погреш-

ностью $\delta = \pm 1 \cdot 10^{-3}$ г. Влажность определяли высушиванием в сушильном шкафу. Скорость агента сушки – 0,5 м/с, его температура – 55-75°C.

Опыты проводили на лабораторной установке, включающей кассету с решетчатым днищем диаметром 120 мм и высотой 0,2 м, которую устанавливали на гнездо диффузора воздушного канала калорифера и вентилятора. Увлажненный материал засыпали в кассету, продували агентом сушки, высушивая до кондиционной влажности, периодически отбирая навески. Осциллирующий режим осуществляли периодическим отключением калорифера. Температура агента сушки поддерживалась автоматически: при осциллирующем режиме температура агента сушки была задана на 15°C выше, чем в контрольных опытах. Эта величина была обусловлена допустимым повышением температуры зерна в конце сушки на 2-2,5°C, в отличие от режима при постоянной температуре агента сушки. Так как продолжительность воздействия теплового фактора меньше, то предельно допустимая температура зерна была выше на 2,0-2,5°C [7, 12, 13].

Результаты и обсуждение. Изменение разности $\Delta W = W_{\text{я}} - W_{\text{об}}$ (где $W_{\text{я}}$, $W_{\text{об}}$ – влажность ядра и оболочки, %) от времени сушки τ для двух режимов осциллирующей сушки и контрольного опыта приведено на рисунке 1. Установлено, что величина ΔW быстро возрастает вследствие снижения $W_{\text{об}}$, достигает максимума и монотонно снижается.

Быстрое снижение величины ΔW (кривые 2 и 3) способствует уменьшению поверхностного градиента влагосодержания и безопасности процесса сушки, в частности семенного зерна, как в начальный период, так и в его конце при повышенной температуре нагрева.

Разность влажностей ΔW между ядром и оболочкой служит определяющим фактором при выборе режима сушки: чем она ниже, тем меньше вероятность механических повреждений оболочки и трещинообразования в зерновках крупносеменных культур.

Действительно, в начале процесса сушки разность ΔW между ядром и оболочкой максимальна, но поскольку в этот период удаляется преимущественно слабосвязанная влага, значительная величина ΔW не критична для безопасной сушки. Однако в дальнейшем ее следует ограничить, например отлежками. Зависимость изменения влажности оболочки и ядра зерновки при осциллирующем режиме сушки приведена на рисунке 2.

Установлено первоначальное резкое снижение влажности оболочки, что обусловлено ее капиллярно-пористой структурой в отличие от капиллярно-пористой коллоидной структуры ядра, которая легко отдает влагу при отлежке и так же легко поглощает ее. Снижение поверхностного вла-

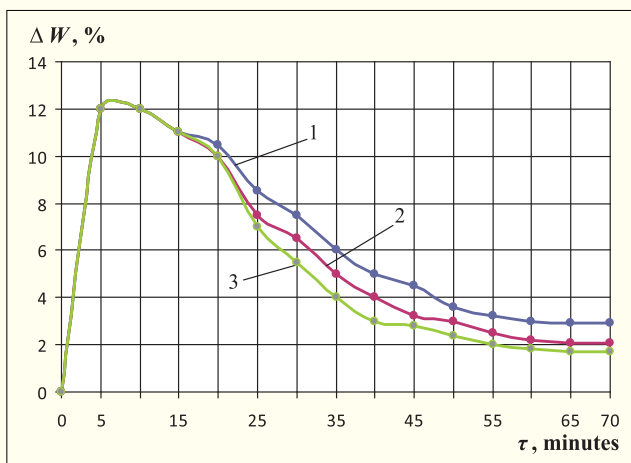


Рис. 1. Зависимость изменения ΔW от τ при длительности отлежек 10 мин (длительность отлежек в графике не учтена): 1 – непрерывный теплоподвод; 2 – осциллирующий режим без отлежек, 3 – осциллирующий режим с отлежками подогретого зерна; отношение периодов нагрева – охлаждения 10:10 мин

Fig. 1. Dependence of ΔW from τ taking into account 10 minutes lying duration (lying duration in graphics is not considered): 1 – continuous heatsupply; 2 – oscillating mode without lying, 3 – oscillating mode with lying of the warmed-up grain; relation of the periods «heating – cooling» equals 10:10 minutes

госодержания оболочки, сменяется некоторым увеличением его, что экспериментально подтверждено сушкой гороха [14].

Это явление может быть объяснено следующим образом. Уже в первом периоде нагрева в оболочке поверхность испарения углубляется до ядра. Скорость этого углубления возрастает с увеличением интенсивности влагоотдачи. В первый момент вслед-

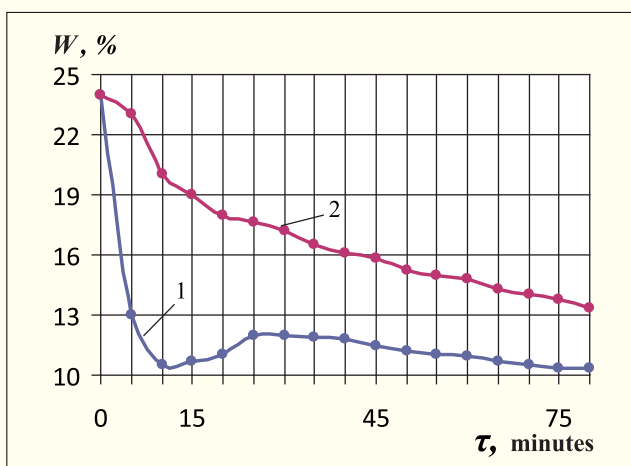


Рис. 2. Изменение влажности зерновки при осциллирующем режиме в зависимости от времени: 1 – оболочка, 2 – ядро (отношение периодов «нагрев-охлаждение» 10:10 мин)

Fig. 2. Change of cariopsis humidity at the oscillating mode depending on time: 1 – cover, 2 – kernel (relation of the periods «heating – cooling» equals 10:10 minutes)

ствие энергичного нагрева на поверхности зерновки возникает значительный температурный градиент, который в дальнейшем быстро снижается. Углубление зоны испарения приводит к возрастанию гидродинамического сопротивления поверхностной пленки и к структурным изменениям в оболочке, вследствие чего возможно некоторое увеличение в ней концентрации влаги, интенсивно мигрирующей из внутренних слоев к зоне испарения в связи с заметным увеличением коэффициента диффузии.

Графики зависимости влажности зерновки и ядра от времени имеют типичную классическую форму, но при осциллирующей сушке влажность ядра снижается более интенсивно, так как процесс переноса влаги из ядра в оболочку интенсифицируется, в отличие от массопереноса при постоянной температуре.

Рассматривая процесс осциллирующей сушки с отлежками, отметим, что после периода нагрева оболочка зерновки достигает влажности, близкой к равновесной, в периоде охлаждения этот показатель продолжает снижаться, но медленнее. При отлежках отмечено скачкообразное повышение влажности с уменьшающейся во времени амплитудой (рис. 3).

Выявлены некоторое повышение средней влажности оболочки и снижение средней влажности ядра по сравнению с осциллирующей сушкой без отлежек. Эти изменения характерны для всего процесса сушки, но наибольшее изменение амплитуды ΔW отмечено в начале процесса.

Установлено, что режим сушки с отлежками охлажденного зерна характеризуется меньшей величиной ΔW , что объясняется замедленным выравниванием полей влагосодержания в зерновке.

Для практической реализации осциллирующих режимов в зерносушилках важное значение имеет обоснованная величина длительности отлежек, при которых происходит выравнивание полей влагосодержания в зерновке. Естественно, чем она меньше, тем меньше экспозиция сушки и выше пропускная способность сушилки. Однако с повышением длительности отлежки происходит более полное выравнивание полей влажности в зерновках с последующей интенсификацией процесса, и лучше сохраняются качественные показатели зерна и семян. Вначале величина ΔW возрастает прямо пропорционально длительности отлежки $\tau_{от}$, затем экспоненциально возрастает до 6-7% и после 40 мин практически не меняется. На наш взгляд, целесообразно ограничиться величиной $\tau_{от}=15$ и 20 мин соответственно для режима осциллирования с отлежками после периода нагрева и после периода охлаждения, в которых ΔW возрастает прямо пропорционально изменению $\tau_{от}$.

Установлено, что кривые сушки зерна при не-

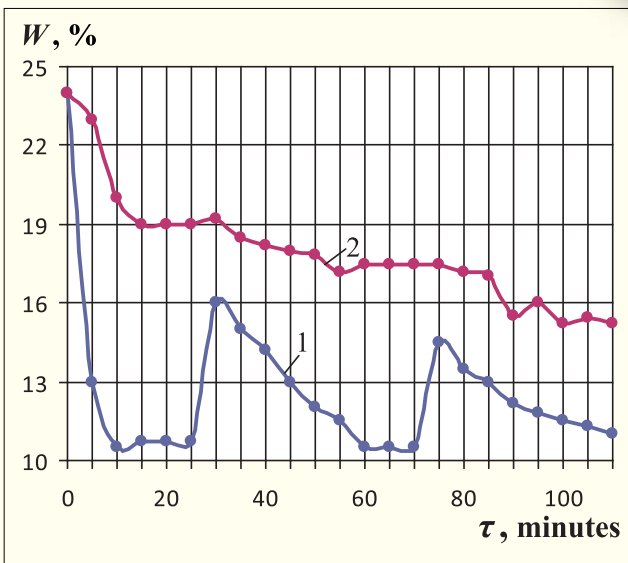


Рис. 3. Изменение влажности зерновки при осциллирующем режиме с отлежками подогретого зерна по 10 мин (длительность отлежек в графике не учтена): 1 – оболочка; 2 – ядро

Fig. 3. Change of cariopsis humidity at the oscillating mode with lying of the warmed-up grain during 10 minutes (lying duration in graphics is not considered): 1 – cover; 2 – kernel

прерывном и переменном теплоподводе однотипны. Длительность сушки с переменным теплоподводом на 5-10% больше, чем с постоянным. Причем при отлежке подогретого зерна она меньше, чем на отлежке охлажденного. Температура высушенного зерна при осциллирующих режимах без отлежек на 1-2°C превышала температуру зерна высушенного при постоянном теплоподводе, а с отлежками температура агента сушки была сопоставима с температурой зерна в контрольных опытах.

Проведенные исследования показывают, что режим сушки оказывает существенное влияние на поле влагосодержания. Режим с постоянным теплоподводом приводит к пересушиванию поверхности зерна, интенсивному углублению поверхности испарения, созданию больших градиентов влагосодержания, что небезопасно для семян. Интенсивный теплообмен с поверхностью зерна вызывает быстрое испарение влаги, находящейся в капиллярах оболочек (стыковая влага макропор либо влага капиллярного состояния), что может привести в дальнейшем к росту температуры выше допустимой, к усадке и снижению качества зерна.

Осциллирующий режим благодаря промежуточному охлаждению в меньшей степени пересушивает поверхность зерновки и характеризуется пониженными градиентами влагосодержания. Интенсивность отлежек позволяет, наравне с перераспределением полей влагосодержания, снизить температуру зерна, обеспечить щадящий режим сушки. Несмотря на некоторое увеличение экспозиции сушки, осциллиру-

ющие режимы с отлежками более приоритетны.

Благодаря пористой структуре оболочка зерновки легко насыщается влагой при увлажнении и легко отдает ее при сушке. При увлажнении она существенно увеличивает свою толщину (с 0,07 до ~0,1 мм), аккумулируя достаточно большое количество влаги, и играет роль своеобразного «насоса», перекачивающего влагу при чередовании периодов отлежки и вентилирования. Это позволяет снизить удельные затраты тепла при сохранении качественных показателей семян.

При разработке модели примем следующие допущения: толщина оболочки $\delta_3 = \text{const}$ (δ_3 – эквивалентная величина) на протяжении всего исследуемого периода и равна для пшеницы $\delta_3 \approx 1 \cdot 10^{-4}$ м.

Ввиду цикличности процесса начальное влагосодержание зерна примем равным средней величине $U_{cp} = \frac{U_0 + U_k}{2}$ (U_0 , U_k – соответственно, начальное и конечное влагосодержание, кг вл./кг сух.мат.). Считаем, что также $a_m = \text{const}$ (a_m – коэффициент диффузии, м²/с).

Математическая модель расчета длительности отлежки. Пренебрегая потерями влаги в окружающую среду, запишем массу влаги, перемещенной из ядра в оболочку при отлежке, в виде:

$$dM = \frac{a_m \rho (U_{cp} - U_p)}{2(R - \delta_3)}, \quad (1)$$

где ρ – плотность влаги, кг/м³.

U_p – равновесие влагосодержание; кг вл./кг сух.мат.

R – радиус зерновки, м.

Этот поток влаги можно записать следующим образом:

$$dM = \frac{G}{d\tau_{от}} \frac{dU}{F}, \quad (2)$$

где G – масса оболочки, кг;

$d\tau_{от}$ – длительность отлежки, с;

F – массообменная поверхность оболочки, м².

Приняв во внимание, что $\delta_3 \ll R$, величину G можно представить в виде: $G_b = V_0 \rho \approx \delta F \rho$, где V_0 – объем оболочки, м³.

Приравняв правые части выражений (1) и (2) и решая полученное уравнение относительно $\tau_{от}$, получим:

$$\tau_{от} = \frac{2 \delta_3 (R - \delta)}{a_m} \ln \frac{U_{cp} - U_p}{U_k - U_p} \quad (3)$$

где U_k – кондиционное влагосодержание зерна, кг вл./кг сух.мат.

Выводы. При сушке семян и зерна рекомендуется выбирать осциллирующий режим. Существенное влияние на процесс сушки оказывает длительность отлежек, которая должна быть достаточной для перераспределения влаги в зерновках. Это не только сохраняет качество семян и зерна, но и позволяет интенсифицировать процесс. Наличие отлежек несколько затягивает (на 5% при отлежке подогретого и на 10% – неподогретого зерна) процесс сушки по сравнению с тем же режимом без отлежек, но позволяет снизить удельные затраты теплоты (по предварительным расчетам до 20-25%). При осциллирующем режиме без отлежек экспозиция сушки меньше, чем с отлежками. Однако непрерывную сушку семян не рекомендуется использовать при влагосъеме более $\Delta W = 6\%$. Целесообразно ограничиться длительностью отлежек, когда влагосъем возрастает прямо пропорционально времени отлежки (15-20 мин).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 17-18 сентября 2013 г., Ч. 1. М.: ВИМ, 2013. С. 9-12.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, Углич, 10-12 сентября 2012 г. Ч. 1. М.: ВИМ, 2012. С. 31-44.
3. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N1. С. 11-14.
4. Любошиц И.Л., Слободкин Л.С., Пикус И.Ф. Сушка дисперсных термочувствительных материалов. Минск: Наука и техника, 1969. 213 с.
5. Голубкович А.В., Павлов С.А., Орехов А.П., Козлов В.И. Сушка семян рапса в карусельной сушилке при осциллирующем режиме // Техника в сельском хозяйстве. 2011. N4. С. 25-28.
6. Голубкович А.В., Павлов С.А., Лукин И.Д., Машковцев М.Ф. Расчет параметров осциллирующей сушилки зерна в мобильной зерносушилке // Тракторы и сельхозмашины. 2013. N5. С. 28-29.
7. Голубкович А.В., Павлов С.А. Оптимизация сушки зерна при осциллирующем режиме // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. N1. С. 10-14.
8. Пат. N2519809 РФ. Способ сушки семян и зерна и устройство для его осуществления / Голубкович А.В., Павлов С.А., Лукин И.Д., Машковцев М.Ф. // Бюл. 2014. N17.
9. L. Kocsis, M. Herdovics, J. Deákvari, and L. Fenyvesi. Corn drying experiments by pilot dryer. Agronomy



Research. Vol. 9. Biosystem Engineering. 2011. Special Issue 1. pp. 91-97.

10. Пат. N2472085 РФ. Способ сушки семян и зерна и устройство для его осуществления / Голубкович А.В., Павлов С.А., Измайлов А.Ю. // Бюл. 2013. N1.

11. Новоселов С.В. Сушка семян гороха и бобов в насыпи: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. М.: РАСХН, 1970. 19 с.

12. Sadjad Abasi & Saeid Minaei. Effect of Drying

Temperature on Mechanical Properties of Dried Corn. Journal: Drying Technology. Vol. 32, Issue 7, May 2014, pp. 774-780.

13. Sadjad Abasi, Saeid Minaei, and Mohammad Hadi Khoshtaghaza. Performance of a recirculating dryer equipped with a desiccant wheel. Journal: Drying Technology. Vol. 34; Issue 8; June 2016: 863-870.

14. Dr. Kenneth J., Hellevang, PE

Extension Agricultural Engineer Grain Drying North Dakota State University, Fargo, North Dakota 2013, P. 24

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii [System of technologies and machinery for innovative development of agrarian and industrial complex of Russia]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Moskva, 17-18 sentyabrya 2013 g. [System of technologies and machinery for innovative development of AIC of Russia: Proceedings of the International scientific and technical conference, Moscow, 17-18 September 2013] Vol. 1., Moscow: VIM, 2013: 9-12. (In Russian)

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovatsionnye mekhanizirovannye tekhnologii i avtomatizirovannye tekhnicheskie sistemy dlya sel'skogo khozyaystva [Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Uglich, 10-12 sentyabrya 2012 g. [Modernization of agricultural production on basis of innovative machine technologies and automated systems: Proceedings of the International scientific and technical conference, Uglich, 11-12 September 2012]. Vol. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)

3. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Initial requirements of technological operations in plant growing. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011; 1: 11-14. (In Russian)

4. Lyuboshits I.L., Slobodkin L.S., Pikus I.F. Sushka dispersnykh termochuvstvitel'nykh materialov [Drying of disperse thermosensitive materials]. Minsk: Nauka i tekhnika, 1969; 213. (In Russian)

5. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Orekhov A.P., Kozlov V.I. Rape seeds drying in rotary dryer at oscillating mode. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2011; 4: 25-28. (In

Russian)

6. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Lukin I.D., Mashkovtsev M.F. Calculation of parameters of grain oscillating drying in mobile grain-dryer. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2013; 5: 28-29. (In Russian)

7. Golubkovich A.V., Pavlov S.A. Optimization of drying of grain at oscillating mode. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014; 1: 10-13. (In Russian)

8. Pat. No. 2519809 RF. Sposob sushki semyan i zerna i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Way of grain drying and device for its implementation]. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Lukin I.D., Mashkovtsev M.F. Byul. 2014. 17. (In Russian)

9. L. Kocsis, M. Herdovics, J. Deákvári, and L. Fenyvesi. Corn drying experiments by pilot dryer. *Agronomy Research*. Vol. 9. Biosystem Engineering. 2011. Special Issue 1. pp. 91-97 (In English).

10. Pat. No. 2472085 RF. Sposob sushki semyan i zerna i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Way of seeds and grain drying and device for its implementation]. Golubkovich A.V., Pavlov S.A., Izmaylov A.Yu. Byul. 2013.1. (In Russian)

11. Новоселов С.В. Сушка семян гороха и бобов в насыпи [Drying of bulk seeds of peas and beans]: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk. Moscow: RASKhN, 1970; 19. (In Russian)

12. Sadjad Abasi & Saeid Minaei. Effect of Drying Temperature on Mechanical Properties of Dried Corn. Journal: Drying Technology. Vol. 32, Issue 7, May 2014, pp. 774-780/ (In English)

13. Sadjad Abasi, Saeid Minaei, and Mohammad Hadi Khoshtaghaza. Performance of a recirculating dryer equipped with a desiccant wheel. Journal: *Drying Technology*. Vol. 34; Issue 8; June 2016: 863-870. (In English)

14. Kenneth J. Hellevang. Grain Drying. North Dakota State University, Fargo, North Dakota 2013, 24 pp. (In English)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.