

УДК 631.362

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЗЕРНОСУШИЛКИ С ДВУХСПИРАЛЬНЫМ ШНЕКОМ

*А.В. Волков, аспирант, тел. 8(8422) 55-95-95, alex.volkov.lr@mail.ru,
В.Н. Игонин, кандидат технических наук, доцент,
тел. 8(8422) 55-95-95, igonin@chaoslab.ru,
М.В. Сотников, кандидат технических наук, доцент,
тел. 8(8422) 55-95-95, sotnikovmaksim@mail.ru
ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА*

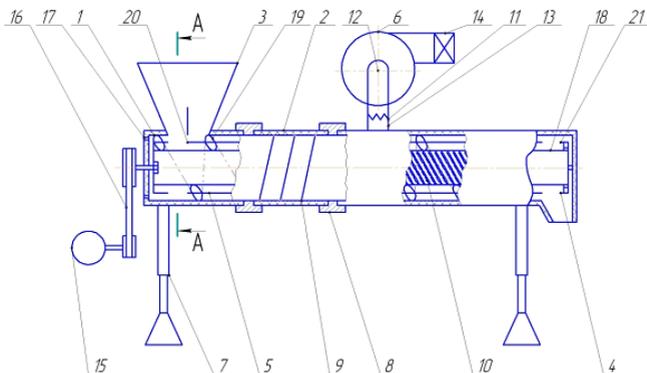
Ключевые слова: сушка, зерно, зерносушилка, контактная сушка, тонкий слой.

Предложена конструкция зерносушилки контактного типа для сушки зерна в тонком слое, которая производит сушку зерна с минимальными затратами энергии. Изложены основные особенности зерносушилки контактного типа для сушки зерна, описан принцип работы. Выявлен оптимальный тепловой режим сушки в зерносушилке контактного типа.

Введение. Важнейшей задачей для экономики страны является повышение конкурентоспособности агропромышленного производства и его продукции на мировом и отечественном рынках. Прогрессом в направлении развития сельскохозяйственного производства является внедрение инновационных энергосберегающих технологий обработки сельскохозяйственных культур, с использованием принципиально новых энергосберегающих конструкций зерносушилок для сушки зерна, обеспечивающих требуемое качество продукции.

Результаты исследований и их обсуждение. На основе анализа способов сушки сельскохозяйственных культур выявлено, что наиболее перспективным способом сушки сельскохозяйственных культур, является контактная сушка в тонком слое.

Нами предложена конструкция зерносушилки контактного типа сушки зерна в тонком слое, подтвержденная патентом РФ 2608015, которая содержит цилиндрический кожух 1, внешняя поверхность которого покрыта слоем теплоизолирующего материала 2. Загрузочный бункер 3. Выгрузное окно 4. Соосно установленный внутри кожуха 1 с возможностью вращения транспортирующий рабочий орган 5, выполненный в виде полого вала шнека с перфорированными витками. Воздуховод 6, установленный перпендикулярно кожуху 1 и соединенный с внутренней полостью кожуха 1 между загрузочным бункером 3 и вы-



1 - цилиндрический кожух, 2- теплоизолирующий материал, 3 - загрузочный бункер, 4 - выгрузное окно, 5 - транспортирующий рабочий орган, 6 - воздуховод, 7 - винтовые опоры, 8 - кольца из теплоизоляционного материала, 9 - нагревательный элемент, 10 - перфорация, 11 - нагревательный элемент, 12 - вентилятор, 13 - патрубок, 14 - фильтр, 15 - привод от электродвигателя, 16 - передача от электродвигателя, 17 - отверстия, 18 - перфорированный стакан, 19 - перфорированные витки, 20 - загрузочные окна, 21 - выгрузные окна

Рисунок 1 - Зерносушилка контактного типа

грузным окном 4 на одинаковом от них расстоянии. Винтовые опоры 7. Кожух 1 выполнен составным, причем его составные части разделены между собой кольцами 8, выполненные из теплоизоляционного материала. Каждая составная часть кожуха 1 снабжена индивидуальным нагревательным элементом 9. Диаметр перфорации 10 полого вала шнека 5 не превышает минимальный размер зерна. В воздуховоде 6 помещен нагревательный элемент 11, за которым установлен вентилятор 12 и патрубок 13 с возможностью размещения в нем фильтра 14. Транспортирующий рабочий орган 5 получает привод от электродвигателя 15 посредством передачи 16. Торцевые поверхности кожуха имеют отверстия 17. Перфорированный стакан 18. Перфорированные витки 19 на внутренней поверхности полого вала шнека. Загрузочные окна 20 для загрузки внутренней рабочей зоны транспортирующего рабочего органа 5. Выгрузные окна 21 для выгрузки из внутренней рабочей зоны транспортирующего рабочего органа 5. (Рис.1).

Устройство работает следующим образом. Включают нагревательные элементы 9. После достижения необходимой температуры

кожуха подают зерно в загрузочный бункер 3, откуда оно поступает в рабочую зону транспортирующего рабочего органа 5, а так же через загрузочные окна 20 во внутреннюю рабочую зону транспортирующего рабочего органа 5, и перемещается им к выгрузным окнам 4 и 21. Одновременно включают вентилятор 12 и нагревательный элемент 11, установленный в воздуховоде 6. Контактная поверхность с нагретой поверхностью кожуха 1 и с нагретым воздухом, поступившим через воздухопровод 6 и нагревательный элемент 11, зерно также нагревается, теряет излишки влаги, которые в виде пара выдуваются через перфорацию транспортирующего рабочего органа, стакана и далее, через загрузочный бункер 3, выгрузные окна 4, 21, отверстия в торцах кожуха 17. Сухое зерно удаляется из устройства через выгрузные окна 4, 21 [7].

Результаты теоретических исследований подтверждены лабораторными исследованиями. Достоверность полученных данных была подтверждена использованием современных математических программных обеспечений ПЭВМ: «Statistica-6», «Microsoft Office Excel 2007».

При расчетах оптимальных параметров зерносушилки контактного типа в тонком слое учитывались показатели движения отдельной частицы, вместо движения потока материала, силы трения о витки шнека транспортирующего рабочего органа и кожух рассматривались как силы трения скольжения, размеры винтового транспортирующего рабочего органа не менялись под нагрузкой.

Исследование движения частицы материала в зерносушилке контактного типа в тонком слое может быть описано системой уравнений, полученных на основе Германа-Эйлера-Даламбера

$$\begin{cases} N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha - K_3 \sin \alpha - G \sin \varphi - F_2 \sin \beta = 0 \\ G \sin \varphi \sin \varepsilon + F_2 \cos \beta - F_1 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha = 0 \\ G \sin \varphi \cos \varepsilon + K + K_1 + N_2 - K_3 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где $K = m\omega^2 R_n$ - центробежная сила инерции в переносном движении,

$N; K_1 = mR_n \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)^2$ - центробежная сила инерции в относительном дви-

жении, $N; K_2 = 2m\omega R_n \left(\frac{d\theta}{d\tau} \right)$ - Кориолиса сила, $N; K_3 = m \frac{dv_0}{d\tau}$ - сила

инерции в относительном перемещении частицы по витку транспортирующего рабочего органа, $N; \alpha$ - угол винтовой линии шнека транс-

портирующего рабочего органа, град, $\alpha = \frac{\arctg S}{\pi D_n}$; φ - угол наклона сушильной камеры к горизонту, град, ε - угол, определяющий положение частицы относительно вертикальной плоскости, град, β - угол между векторами абсолютной v и переносной v_n скоростей, град, m - масса частицы материала, ; g - ускорение силы тяжести; R_n - наружный радиус шнека транспортирующего рабочего органа, c^{-1} ; θ - угол, на который отклоняется материала при повороте шнека транспортирующего рабочего органа на угол $w = \omega t$, ($w = \theta + \varepsilon$) град; f_1 - коэффициент трения частицы о шнек транспортирующего рабочего органа, f_2 - коэффициент трения частицы о сердечник [1...6].

Положение частицы на поверхности при ее перемещении шнеком определяем уравнениями

$$x = R_n \cos \theta; y = R_n \sin \theta; z = R_n \theta \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

По теореме синусов для абсолютной скорости частицы имеем

$$v = \frac{v_n \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (3)$$

т.к. $v = \omega R_n$, то

$$v = \frac{v_n \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{\omega R_n \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (4)$$

Согласно плану скоростей осевая скорость частицы материала равна $v_z = v \sin \beta$

Тогда получаем

$$v_z = \frac{\omega R_n \sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (5)$$

После преобразований по модулю

$$v_z = \frac{\left| \sqrt{\frac{\omega^2 R_n f_2}{g} \left[\operatorname{tg} \alpha + \frac{\omega^2 R_n f_2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{4g} + \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_1) \right]} - \left(1 + \frac{\omega R_n f_2 \operatorname{tg} \alpha}{2g} \right) \right|}{\left| 1 + \left\{ \sqrt{\frac{\omega^2 R_n f_2}{g} \left[\operatorname{tg} \alpha + \frac{\omega^2 R_n f_2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{4g} + \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_1) \right]} - \left(1 + \frac{\omega R_n f_2 \operatorname{tg} \alpha}{2g} \right) \right\} \right|} \quad (6)$$

Исходя из этого, осевая скорость перемещения частицы в зерносушилке контактного типа в тонком слое в наибольшей степени зависит от частоты вращения, наружного радиуса и угла подъема винтовой линии шнека транспортирующего рабочего органа.

Производительность зерносушилки контактного типа в тонком слое определяется с учетом скорости перемещения материала по формуле

$$W = v_z k_z V_L \quad (7)$$

где W - объемная производительность зерносушилки контактного типа в тонком слое; v_z - скорость перемещения зерна; k_z - коэффициент заполнения сушильной камеры зерном; V_L - рабочий объем кожуха, приходящийся на единицу длины зерносушилки контактного типа в тонком слое.

Рабочий объем кожуха, приходящийся на длину зерносушилки, определяется по уравнению

$$V_L = \frac{V_k V_n V_c}{L} \quad (8)$$

где V_k - внутренний объем кожуха, м³; V_n - объем винтового транспортирующего рабочего органа, м³; V_c - объем сердечника, м³; L - длина сушильной камеры, .

Выразив V_k , V_n , V_c через параметры винтового транспортирующего органа d , D_n , S , кожуха D_k и сердечника D_c , получим

$$V_L = \frac{\pi}{4} \left\{ D_k^2 - D_c^2 - d^2 \sqrt{\left[\frac{\pi}{S(D_n - d)} \right] + 1} \right\} \quad (9)$$

где D_k - внутренний диаметр кожуха, м; d - диаметр винтового транспортирующего рабочего органа, м; D_c - диаметр сердечника, м.

Для винтового транспортирующего рабочего органа

$$S = 0,5 D_n \quad d = 0,2 D_n \quad (10)$$

Тогда

$$V_L = \frac{\pi}{4} \left[(D_k)^2 - D_c^2 - 3,3 d^2 \right]. \quad (11)$$

Подставляя в выражение (8) уравнение (11), получим

$$W = v_z k_z \frac{\pi}{4} \left[(D_k)^2 - D_c^2 - 3,3 d^2 \right] \quad (12)$$

Таким образом, формула (12) позволяет определить производительность зерносушилки с винтовым транспортирующим рабочим органом через ее конструктивные параметры и осевой скорости перемещения зерна [1...6].

Заключение. Отличие теоретической производительности полученной по формуле 12 не превышает 10% от практической.

Библиографический список

1. Артемьев В.Г. Оптимальные режимы работы зерносушилки со спирально-винтовым рабочим органом / В.Г. Артемьев, В.Н. Игонин, М.В. Сотников // *Механика жидких и сыпучих материалов в спирально-винтовых устройствах* Артемьев В.Г. Сборник научных трудов, посвященный 75 –летию доктора технических наук, профессора Артемьева Владимира Григорьевича. Ульяновск: УГСХА, 2013. С. 78-82.
2. Н.И. Малин “Энергосберегающая сушка зерна” М. “КолосС” 2004, 240 с.
3. А.П. Журавлёв “Теория и практика рециркуляционной сушки зерна” Самара “Парус” 2001, 254 с.
4. Сотников М.В. Установка для сушки зерна в тонком слое / М.В. Сотников // *Молодежь и наука XXI века. Материалы Международной научно-практической конференции.* Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия; Ульяновск: УГСХА, 2006. С. 214-217.
5. Сотников М.В. Результаты испытаний пружинной зерносушилки / М.В. Сотников, В.Н. Игонин // *Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы.* Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ульяновск: УГСХА, 2005. С. 231-233.
6. Сотников М.В. Об использовании спирально-винтовых рабочих органов при сушке сыпучих материалов / М.В. Сотников, В.Н. Игонин // *Молодые ученые в XXI веке. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов.* Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. 2005. С. 245-248.
7. Игонин В.Н. Исследование влияния основных факторов процесса сушки зерна в спирально-винтовой зерносушилке на влагосъем / В.Н. Игонин, М.В. Сотников// *Молодежь и наука XXI века. материалы II Открытой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых.* Ульяновск: УГСХА, 2007. С. 156-158.
8. Игонин В.Н. Определение коэффициента осевого отставания и коэффициента заполнения сушильной камеры мобильной зерносушилки / В.Н. Игонин, М.В. Сотников// *Актуальные проблемы агропромышленного комплекса материалы Всероссийской научно-практической конференции.* Ульяновск: УГСХА, 2008. С. 57-60.
9. Игонин В.Н. Математическая модель процесса сушки зерна в тонком слое применительно к спирально-винтовым зерносушилкам / В.Н. Игонин, М.В. Сотников // *Молодежь и наука XXI века материалы II-й Открытой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых.* Ульяновск: УГСХА, 2007. С. 162-164.
10. Пат. 2297582 Российская Федерация, МПК F26B 11/14 Устройство для сушки зерна / В.Н. Игонин, М.В. Сотников; патентообладатель ФГБОУ ВПО «Улья-

новская ГСХА им. П.А.Столыпина». - № 2005120253/06, заявл.29.06.2005;
опубл. 20.04.2007, Бюл. № 11 .- 4 с.: ил.

DETERMINATION OF PRODUCTIVITY OF ZERNOSUSHILKI WITH THE TWO-SPIRAL SCREW

Volkov A.V., Igonin V.N., Sotnikov M.V.

Keywords: *drying, grain, zernosushilka, contact drying, thin layer.*

The design of a zernosushilka of contact type for drying of grain in a thin layer which makes drying of grain with the minimum costs of energy is offered. The main features of a zernosushilka of contact type for grain drying are stated, the principle of work is described. The optimum thermal mode of drying in a zernosushilka of contact type is revealed.