

Study of optimum operation parameters dryers with spiral-helical transporting the working body

Igonin V.N., Sotnikov M.V., Molochnikov D.E., Jakovlev S.A.

FSBEA HE «Ulyanovsk state agricultural university of P. A. Stolypin »

Keywords. Drying grain, mobile grain dryer, spirally-screw working body, drying speed.

Abstract. The design of a mobile grain dryer with spiral screw working tools is substantiated. A system of equations is constructed for the case of nonstationary heat conduction in an unbounded plate (grain layer) exchanging heat according to the law of thermal conductivity with the surface of the shell and the glass. The distributions of temperature fields and the speed of air movement in the device during the grain drying process at various temperatures of the heating surface were obtained.

УДК 639.349

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОТРАВЛИВАНИЯ ЗЕРНА**

Исаев Ю.М.,

доктор технических наук, профессор

Гуйбейдуллин Х.Х.,

доктор технических наук, профессор

Семашкин Н.М.,

кандидат технических наук, доцент

Злобин В.А.

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, emotion.snm@mail.ru

Ключевые слова: производительность протравливателя, спиральный винт, коэффициент трения.

Аннотация. В работе рассматривается выражение для производительности спирально-винтового устройства учитывающие различные кинематические и динамические параметры как спирали, так и частицы. Приведены графические зависимости результатов лабораторных исследований. Также приведен и обоснован расчёт осевой скорости материала.

Одной из основных характеристик работы пружинно-транспортирующих рабочих органов является их производительность. С увеличением производительности увеличиваются и энергозатраты, соответственно растут затраты материалов и ресурсов на создание и эксплуатацию.

Производительность зависит от многих факторов:

$$W = f(D_k, d, s, \delta, \Delta, \gamma, n, \omega_m, f_{вн}, f_n, f_k, f_{пк}, \rho, K_F, K_v, \nu, K_f, K_{Fж}), \quad (1)$$

где D_k – внутренний диаметр кожуха (трубы); d – диаметр пружины; s – шаг винтовой линии пружины; δ – диаметр проволоки пружины; Δ – зазор между наружной поверхностью витков пружины и внутренней поверхностью кожуха; γ – угол наклона транспортирующего устройства к горизонту; n – частота вращения пружины; ω_m – влажность перемещаемого материала; $f_{вн}$ – коэффициент внутреннего трения перемещаемого материала; f_n – коэффициент трения перемещаемого материала о поверхность проволоки пружины; f_k – коэффициент трения перемещаемого материала о поверхность кожуха; $f_{пк}$ – коэффициент трения проволоки пружины о внутреннюю поверхность кожуха; ρ – плотность перемещаемого материала; $K_{Fж}$ – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения желоба; K_F – коэффициент наполнения кожуха материалом; K_v – коэффициент осевого отставания перемещаемого материала от осевой скорости винтовой поверхности пружины; ν – вязкость перемещаемого материала; K_f – коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения витка проволоки пружины рабочего органа и др.

В первом приближении производительность можно определять из уравнения:

$$W = 3600 \cdot v_{z.m.} \cdot F_m \cdot \rho, \text{ кг/ч} \quad (2)$$

где $v_{z.m}$ – осевая скорость материала м/с; F_m – площадь поперечного сечения движущегося внутри кожуха материала, м²; ρ – плотность материала, кг/м³.

Производительность рабочего органа вычисленная по формуле 2 даёт возможность получить приближённые значения в зависимости от диаметра пружины (диаметра кожуха), частоты вращения и шага пружины (рисунок 1 и 2).

Осевая скорость материала в свою очередь взаимосвязана с осевой скоростью винтовой поверхностью пружины и уравнение связи имеет вид:

$$v_{z.m.} = v_{z.n.} \cdot K_v = S \cdot n \cdot K_v / 60, \text{ м/с} \quad (3)$$

где $K_g = v_{z.m.} / v_{z.n.}$ – коэффициент осевого отставания материала; S – шаг пружины, м; n – частота вращения пружины, мин⁻¹.

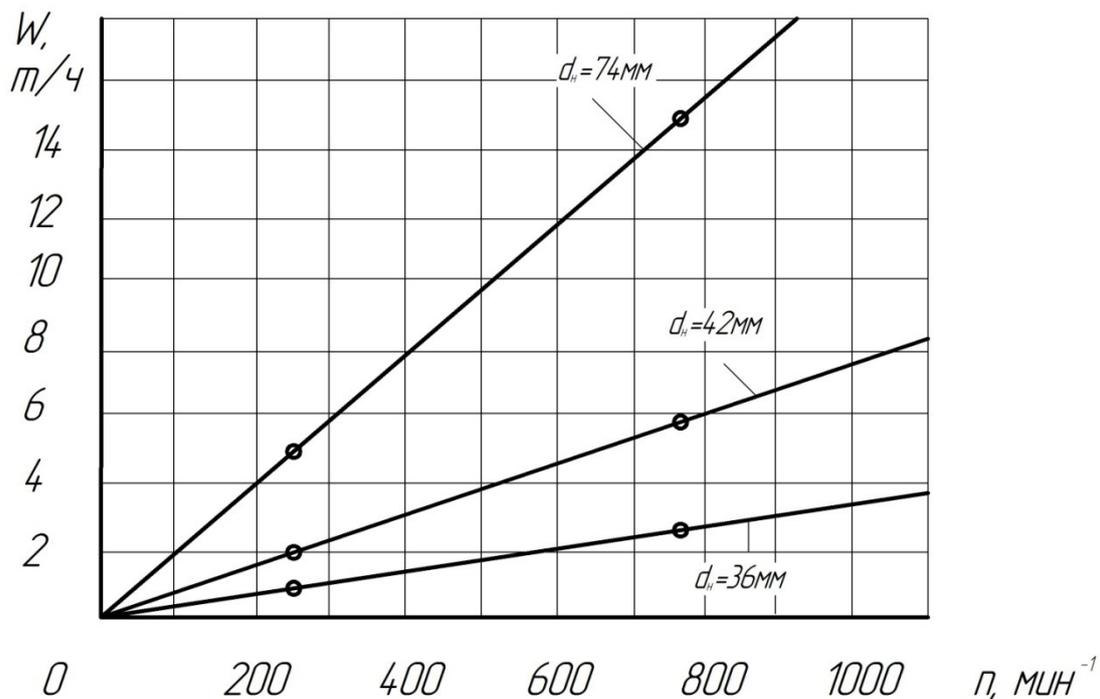


Рисунок 1 – Зависимость производительности загрузчика с круглым кожухом от частоты вращения и диаметра пружин

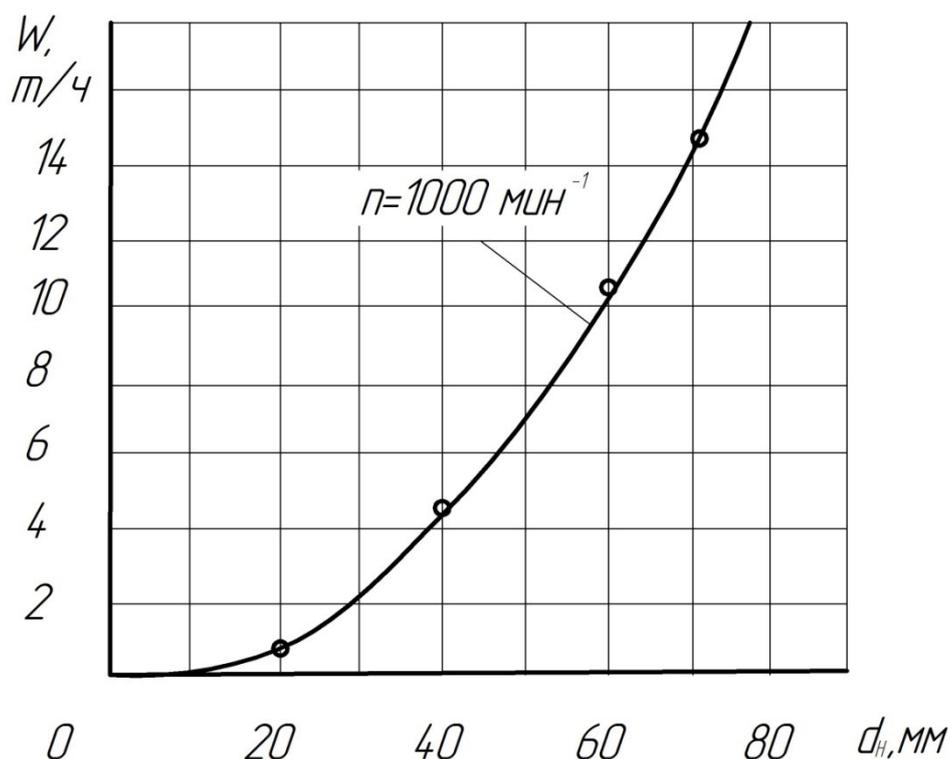


Рисунок 2 – Зависимость производительности от диаметра пружины

Площадь поперечного сечения движущегося материала (по существующим теориям) “всегда” меньше площади поперечного сечения кожуха на величину, учитываемую коэффициентом наполнения, который определяется из соотношения:

$$K_f = F_M / F_k = (V_M + V_{II}) / V_k, \quad (4)$$

где F_k – площадь поперечного сечения кожуха; F_M – площадь поперечного сечения перемещаемого материала; V_M – объём материала; V_{II} – объём рабочего органа; V_k – объём кожуха.

Объём материала может определиться лишь экспериментально. Объём рабочего органа (проволоки пружины) определяется в первом приближении из уравнения:

$$V_{II} = 0,25 \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot l = 0,75 \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot L, \text{ см}^3 \quad (5)$$

где δ – диаметр проволоки, см; $l \approx 3 \cdot L$ – длина проволоки, см; L – длина пружины, см. Например, для рабочего органа с параметрами $\delta = 0,8$ см, $L = 500$ см, $V_{II} = 753,6$ см³, в то время как $V_k = 30000 \dots 40000$ см³, то-есть рабочий орган (пружина)

занимает лишь 2,5...3% объёма кожуха, что в принципе является одним из преимуществ подобных транспортирующих устройств, и при этом масса рабочего органа не превышает 1,2 кг на 1 м линии транспортирования.

Для конкретных технологических процессов связанных с более уточненными параметрами рабочего органа, объём рабочего органа определится с учётом угла наклона винтовой линии пружины:

$$\alpha = \arctg S / \pi \times d_{cp}, \quad (6)$$

где $d_{cp} = d_n - \delta$ – средний диаметр пружины, мм; d_n – наружный диаметр пружины, мм; δ – диаметр проволоки пружины, мм; S – шаг винтовой линии пружины, мм.

Длина проволоки пружины определится с учётом количества витков рабочего органа:

$$i = L/S \quad (7)$$

Тогда, соответственно, длина проволоки:

$$l = \pi \cdot d_{cp} \cdot i / \cos \alpha \quad (8)$$

Для выше приведенного варианта параметров рабочего органа ($L = 500$ мм, $d_n = 70$ мм, $d_{cp} = 62$ мм, $\delta = 8$ мм, $\alpha = 19^\circ 40'$, $i = 71,4$, $\cos \alpha = 0,936$; $l = 14,8$ м) объём пружины составляет 744 см^3 , отличаясь от приближённого $753,6 \text{ см}^3$ незначительно.

Рассмотрим осевое перемещение материала. Из рисунка 3 видно, что в векторном выражении абсолютная скорость равняется:

$$\bar{g} = \bar{g}_n + \bar{g}_0 = \bar{g}_g + \bar{g}_{z.m.} \quad (9)$$

Переносная скорость определится из выражения:

$$\bar{g}_n = \omega_0 \cdot r. \quad (10)$$

Соответственно, осевая скорость частицы материала:

$$g_{z.m.} = g \cdot \sin \beta, \quad (11)$$

и окружная скорость в абсолютном вращательном движении:

$$g_g = g \cdot \cos \beta. \quad (12)$$

Из теоремы синусов имеем (треугольник ABC, рисунок 3):

$$g = \omega_0 \cdot r \cdot \sin \alpha / \sin(\alpha + \beta), \quad (13)$$

Подставляя выражение (16) в уравнении для определения угловой скорости абсолютного вращательного движения материала ω находим:

$$\omega = \mathcal{G}_g / r = \omega_o - \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \mathcal{G} \cdot \cos \beta / r = \omega_o \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta / \sin(\alpha + \beta). \quad (17)$$

Для случая низкооборотных горизонтальных и слабонаклонных (до 15°) транспортирующих устройств частица материала может двигаться и при угле $\beta = 90^\circ$, подставляя $\beta = 90^\circ$ в уравнение (16) получим:

$$\mathcal{G}_{z.m.} = \omega_o \times r \times \sin \alpha \times \sin \beta : \sin(\alpha + \beta) = \omega_o \times r \times \operatorname{tg} \alpha, \quad (18)$$

где α – угол наклона винтовой линии пружины (уравнение 15), что составляет с учётом предшествующих исследований и в первом приближении,

($S = d$):

$$\alpha = \operatorname{arctg} S / \pi d = \operatorname{arctg} 1 / \pi = 18^\circ 20'. \quad (19)$$

Например, для случая когда частота вращения пружины $n = 200 \text{ мин}^{-1}$, шаг винтовой линии S и диаметр пружины d равны $S = d = 0,1 \text{ м}$ ($r = 0,05 \text{ м}$) из уравнений (19) и (18) находим:

$$\mathcal{G}_{z.m.} = \pi \cdot n \cdot r \cdot \operatorname{tg} 18^\circ 20' / 30 = 3,14 \cdot 200 \cdot 0,05 \cdot 0,328 / 30 = 0,343 \text{ м/с}, \quad (20)$$

Осевая скорость винтовой поверхности пружины при этом:

$$\mathcal{G}_{z.n.} = S \cdot n / 60 = 0,1 \cdot 200 / 60 = 0,333 \text{ м/с}, \quad (21)$$

Соответственно, коэффициент осевого отставания материала $\mathcal{G}_{z.m.}$ от осевой скорости винтовой поверхности пружины $\mathcal{G}_{z.n.}$ составит:

$$K_g = \mathcal{G}_{z.m.} / \mathcal{G}_{z.n.} = 0,343 / 0,333 \approx 1,0, \quad (22)$$

что не наблюдается в действительности, так как обычно K_g всегда меньше единицы ($K_g < 1$ – для сыпучих материалов).

Окружная скорость винтовой поверхности всегда больше осевых скоростей пружины и материала (при $S = d$) в 3 раза:

$$K_\omega = \mathcal{G}_g / \mathcal{G}_{z.n.} = \mathcal{G}_g / \mathcal{G}_{z.m.} \cong 3. \quad (23)$$

Картина перемещения материала винтовой поверхности пружины изменяется при нахождении частиц (части материала) не в наинижем положении

внутри кожуха (трубы), а в положения 2, 3 и 4 (рисунок 3а). При этом необходимо учитывать режимы работы рабочего органа, характеризующиеся коэффициентом кинематического режима работы (центробежности):

$$K_u = \frac{m\omega_0^2 r}{mg} = \frac{\omega_0^2 r}{g}, \quad (24)$$

где $m\omega_0^2 r$ – центробежная сила инерции, м/с²; g – ускорение свободного падения частицы, м/с²; r – радиус вращения, м.

Коэффициент центробежности (в случае рассмотрения рабочих органов типа спирально-винтовые, пружинные) изменяется в достаточно больших пределах ($K_u = 10 \dots 120$).

Библиографический список

1. Исаев, Ю.М. Обеспечение нормы высева мелкосеменных культур спирально-винтовым высевающим аппаратом / Ю.М. Исаев, В.Г. Артемьев, В.И. Курдюмов, М.В. Воронина, Н.Н. Назарова // Вестник Ульяновской с.-х. академии. – 2012. – № 1. – С. 125-128.
2. Исаев, Ю.М. Спирально-винтовые устройства в сельском хозяйстве / Ю.М. Исаев, Х.Х. Губейдуллин, Н.М. Семашкин, И.И. Шигапов // Научный вестник Технологического института - филиала ФГБОУ ВПО "Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина" – 2013. – № 11, С. 116-123.
3. Исаев, Ю.М. Длинномерные спирально-винтовые транспортирующие устройства / Ю.М. Исаев. – Ульяновск. - Ульяновская ГСХА. –2006. – 433 с.
4. Исаев, Ю.М. Критические условия перемещения частиц в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований – 2011. – №3, С.142-143.
5. Исаев, Ю.М. Движение зерна в спирально-винтовом транспортере / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова, В.А. Злобин // Приоритетные

направления развития науки, технологий и техники, научная международная конференция – 2010, С. 95-96.

6. Исаев, Ю.М. Давление спирального винта на частицу материала / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, В.А. Злобин Н.Н., Назарова // Современные наукоёмкие технологии. – 2010. – № 9. – С. 175-176.

7. Груздев, И.Э. Теории шнековых устройств / И.Э. Груздев, Р.Г. Мирзоев, В.И. Яков. – Л.: Изд-во. Ленингр. ун-та, 1978. – 144 с.

8. Гутьяр Е. Я. Элементарная теория вертикального винтового транспортера / Е.Я. Гутьяр // Тр. МИМЭСХ им. В.М. Молотова. – М.: Машгиз, 1956. – Т. 2. – С. 8-12.

9. Исаев Ю.М. Критическая частота вращения спирального винта при перемещении частицы материала / Ю.М. Исаев, В.Г. Артемьев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова, В.А. Злобин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии – 2012. – № 1. – С. 132-135.

10. Желтов, В. П. Расчёт спиральных винтовых конвейеров/ В.П. Желтов // Вестник машиностроения. – 1975. – № 5. – С. 18...21.

Theoretical studies of the performance of the device for the treatment of grain

Isaev Yu.M., Guibeydullin Kh.H., Semashkin N.M., Zlobin V.A.

FSBEA HE «Ulyanovsk state agricultural university of P. A. Stolypin »

Keywords: treater productivity, spiral screw, coefficient of friction.

Annotation. The paper considers the expression for the performance of the spiral-screw device taking into account the various kinematic and dynamic parameters of both the spiral and the particle. The graphical dependencies of the results of laboratory studies. The calculation and calculation of the axial velocity of the material is also given.