

УДК 631.365

В. Е. Круглень, А. С. Алексеенко, В. И. Коцуба

Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», Горки

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТЁРА-ЗАГРУЗЧИКА КАРУСЕЛЬНОЙ СУШИЛКИ

Приведены результаты теоретических исследований получения переменной скорости движения транспортёра-загрузчика карусельной сушилки с помощью троса, наматываемого на вал, вращающийся с постоянной угловой скоростью. Получены теоретические зависимости для определения скорости движения транспортера, радиуса вала и диаметра троса.

**Ключевые слова:** транспортёр-загрузчик, скорость движения, время намотки троса, угол намотки троса.

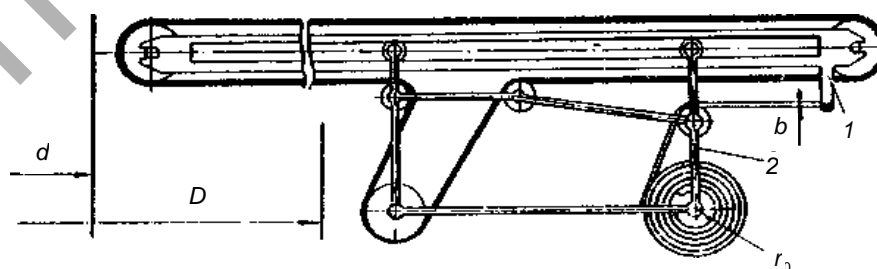
**Введение.** Льноводство является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства нашей страны и имеет большое значение для развития экономики сельскохозяйственных предприятий. Подходящие почвенные и климатические условия, материально-техническая база, подготовленные кадры и благоприятная конъюнктура мирового рынка дают основания считать, что производство льна у нас экономически выгодно.

В процессе эксплуатации льноприёмных пунктов выявлен ряд недостатков. Низкая производительность отделения приёма вынуждает разгружать ворох на площадки временного хранения, грузить его в транспортные средства и подавать в линию. В результате этого возрастают затраты труда, стоимость обработки, потери зерна, его порча.

Не совсем эффективна загрузка сушильной камеры карусельной сушилки транспортёром-загрузчиком (рисунок 1), имеющим подвижную раму  $l$ , которая установлена на четырёх роликах его опорной рамы 2 с возможностью перемещения вдоль радиуса сушильной камеры выше её внешнего ограждения. Привод перемещения подвижной рамы установлен на опорной раме и снабжён цепью, которая одним концом наматывается на барабан привода радиусом  $r_0$ , а другим соединена с подвижной рамой. Цепь с положительным ускорением перемещает подвижную раму к центру сушильной камеры, а в обратном направлении она движется благодаря силе трения грузонесущей ленты о лоток, по которому скользит последняя, причем отрицательное ускорение обратного хода также определяется диаметром приводного барабана и толщиной цепи.

Транспортёр-загрузчик должен обеспечивать равномерную по толщине слоя загрузку сушильной камеры. Однако на практике слой вороха, образующийся при загрузке у центра сушильной камеры, значительно выше слоя у внешнего ограждения. Неравномерность заполнения сушильной камеры достигает 45% [1].

В процессе эксплуатации карусельной сушилки выявлен существенный недостаток в конструкции загрузочного устройства: материал неравномерно распределяется по площади вращающейся платформы



$D, d$  — диаметры внешнего и внутреннего ограждения сушильной камеры;  
 $b$  — толщина ленты транспортёра;  $r_0$  — радиус барабана привода

Рисунок 1. — Схема транспортёра-загрузчика карусельной сушилки

сушильной камеры, что отрицательно сказывается на ресурсосбережении и качестве семян [2]. В целях устранения отмеченного недостатка были проведены теоретические исследования процесса загрузки сушиллки.

**Основная часть.** Лента транспортёра-загрузчика движется с постоянной скоростью, что обеспечивает прохождение за единицу времени постоянного количества материала, равного  $q$  ( $q = \text{const}$ ), кг/с.

Рассмотрим один проход транспортёра, т. е.  $0 \leq x \leq R_2 - R_1$  (рисунок 2).

Нами была определена зависимость скорости транспортёра  $V_p$  от времени  $\tau_c$ , если транспортёр-загрузчик движется с постоянной скоростью и проходит путь от  $x = R_1$  до  $x = R_2$  за время  $T_0$  [3]:

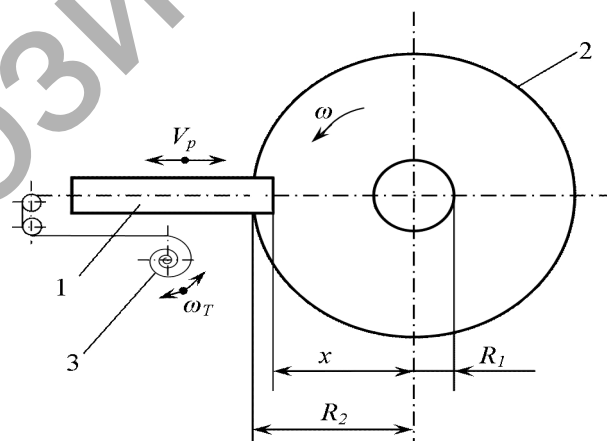
$$V_p = \frac{R_2^2 - R_1^2}{2T_0 \cdot \sqrt{R_1^2 + \frac{R_2^2 - R_1^2}{T_0} \cdot \tau_c}}. \tag{1}$$

Изучим возможность получения переменной скорости движения транспортёра с помощью троса диаметра  $d$ , наматываемого на вал радиусом  $r$  который вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega_T$ . При этом каждый виток троса наматывается на предыдущий. На каждый полный поворот вала (угол поворота  $2\pi$ ) радиус намотки увеличивается на величину диаметра троса  $d$ .

Таким образом, намотанный на вал трос образует спираль, уравнение которой в полярных координатах имеет вид

$$r = r_0 + d \frac{\varphi_T}{2\pi},$$

где  $\frac{\varphi_T}{2\pi}$  — число оборотов, а величина  $\varphi_T$  вычисляется по формуле  $\varphi_T = \omega_T \cdot \tau_c$ .



1 — транспортёр-загрузчик; 2 — сушильная камера карусельной сушилки; 3 — спиральная намотка привода транспортёра;  $R_1, R_2$  — радиусы внутреннего и внешнего ограждения сушильной камеры, м;  $V_p$  — скорость движения рамы транспортёра-загрузчика, м/с;  $\omega$  — угловая скорость платформы,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\omega_T$  — угловая скорость вала привода транспортёра-загрузчика,  $\text{с}^{-1}$

**Рисунок 2.** — Схема для определения скорости движения транспортёра-загрузчика

Длина размотанного троса  $L(\varphi_T)$  будет равна пути, который проходит транспортёр, т. е.

$$X = R_1 + L(\varphi_T).$$

Длина дуги кривой в полярных координатах вычисляется по формуле

$$L(\varphi_T) = \int_0^{\varphi_T} \sqrt{r^2 + r'^2} \cdot d\varphi_T = \int_0^{\varphi_T} \sqrt{\left(r_0 + d \frac{\varphi_T}{2\pi}\right)^2 + \frac{d^2}{4\pi^2}} d\varphi_T.$$

Вычисление этого интеграла приводит к сложным формулам. Упростим его, учитывая, что вторым слагаемым ввиду малости  $d$  в сравнении с  $2\pi$  можно пренебречь.

То, что мы пренебрегаем вторым слагаемым, означает, что длину каждого нового витка мы считаем как длину окружности с новым радиусом  $r$ . При этом получим

$$L(\varphi_T) = \int_0^{\varphi_T} \left(r_0 + d \cdot \frac{\varphi_T}{2\pi}\right) d\varphi_T = r_0 \varphi_T + d \frac{\varphi_T^2}{4\pi}.$$

Время наматывания (разматывания) троса обозначим  $T_0$ . Тогда полная намотка происходит при угле намотки

$$\Phi = \omega_T \cdot T_0.$$

Поскольку длина спирали при полной намотке равна пути  $R_2 - R_1$ , то должно выполняться соотношение

$$r_0 \cdot \omega_T \cdot T_0 + d \cdot \frac{(\omega_T \cdot T_0)^2}{4\pi} = R_2 - R_1. \quad (2)$$

При выборе параметров  $r_0$ ,  $d$ ,  $\omega_T$  необходимо соблюдение этого условия.

Закон движения  $X(\tau_c)$  запишется в виде

$$X = R_2 - r_0 \cdot \varphi_T - \frac{d \varphi_T^2}{4\pi},$$

где  $\varphi_T$  — угол размотки, град.

Таким образом, при  $\varphi_T = 0$ , получаем  $X = R_2$ ; при  $\varphi_T = \Phi$  получаем  $X = R_1$ .

Чтобы время  $\tau_c$  соответствовало движению от  $R_1$  к  $R_2$ , считаем, что  $\varphi_T = \omega_T \cdot (T_0 - \tau_c)$ .

Тогда

$$X = R_2 - r_0 \cdot \omega_T \cdot (T_0 - \tau_c) - \frac{d \cdot \omega_T^2 \cdot (T_0 - \tau_c)^2}{4\pi}.$$

Найдём скорость движения:

$$V = \dot{X} = r_0 \omega_T + \frac{d \cdot \omega_T^2 \cdot (T_0 - \tau_c)}{2\pi}.$$

По условию (2)

$$r_0 \omega_T = \frac{R_2 - R_1}{T_0} - d \frac{\omega_T^2 T_0}{4\pi}. \quad (3)$$

Тогда

$$V = \frac{R_2 - R_1}{T_0} + \frac{d \cdot \omega_T^2 \cdot T_0}{4\pi} - \frac{d \cdot \omega_T^2 \tau_c}{2\pi}.$$

Для сравнения этой скорости со скоростью из выражения (1) примем  $T_0$  равным 1. Обозначив  $\frac{d\omega_T^2}{4\pi} = a$ , и  $R_2 - R_1 = 3$  м, получим

$$V = 3 + a - 2 \cdot a \cdot \tau_c. \quad (4)$$

Подберём  $a$  так, чтобы расхождения между  $V_p$  и  $V$  были минимальны, т. е. нам надо подобрать линейную функцию (4), близкую к значению формулы (1). Воспользуемся методом наименьших квадратов [4], т. е. необходимо подобрать  $a$  так, чтобы значение  $J = \int_0^1 (V - V_p)^2 \cdot d\tau_c$  было минимальным. Это приводит к расчёту

$$J = \int_0^1 \left( 3 + a - 2 \cdot a \cdot \tau_c - \frac{7,5}{\sqrt{1+15 \cdot \tau_c}} \right)^2 \cdot d\tau_c \rightarrow \min.$$

Тогда должно быть

$$\frac{dJ}{da} = 2 \cdot \int_0^1 \left( 3 + a - 2 \cdot a \cdot \tau_c - \frac{7,5}{\sqrt{1+15 \cdot \tau_c}} \right) \cdot (1 - 2 \cdot \tau_c) \cdot d\tau_c = 0.$$

Значение интеграла в последнем выражении получим равным нулю, так как площади, ограниченные  $V$  и  $V_p$ , совпадают. Получим

$$\int_0^1 \left( 3 \cdot \tau_c + a \cdot \tau_c - 2 \cdot a \cdot \tau_c^2 - \frac{7,5 \cdot \tau_c}{\sqrt{1+15 \cdot \tau_c}} \right) \cdot d\tau_c = 0.$$

Выполняя интегрирование, получим  $a$ , равное 1,8, откуда

$$d \cdot \omega_T^2 = 4 \cdot \pi \cdot 1,8 = 7,2 \cdot \pi. \quad (5)$$

Тогда по уравнению (3)

$$r_0 \omega_T = 3 - a = 1,2. \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6), приняв  $T_0$  равным 1,  $R_1$  равным 1 м,  $R_2$  равным 4 м, получим соотношение между  $d$  и  $r_0$ :

$$\frac{d}{r_0^2} = 15,7.$$

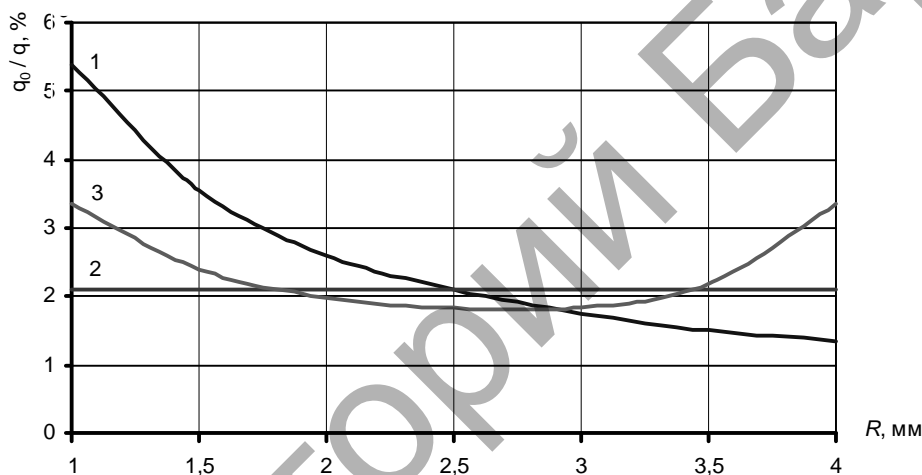
Например, если  $r_0$  равно 0,03 м, то  $d$  равно 0,014 м и  $\omega_T = 1,2 / r_0 = 40$ .

Количество льновороха на единицу сушильной поверхности определяется по формуле

$$q_0 = \frac{q T_0}{\pi(R_2^2 - R_1^2)}. \quad (7)$$

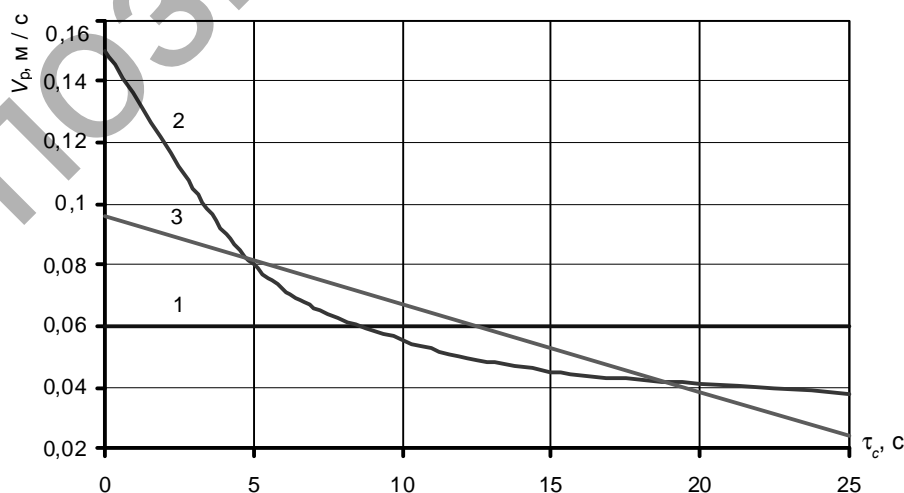
Выражение (7) позволяет определить количество льновороха, приходящегося на единицу поверхности сушильной камеры, если мы знаем количество льновороха, подаваемого транспортером  $q$ , и рабочий цикл рамы транспортёра  $T_0$ .

Обозначим  $q_0$  количество льновороха на единицу площади в процентах к количеству льновороха  $q$ , попадающего на всю площадь сушилки за время  $T_0$ . Льноворох распределяется по радиусу сушилки и зависимости скорости движения транспортёра-загрузчика от времени (рисунки 3 и 4).



1 — равномерная скорость движения транспортёра-загрузчика; 2 — рациональная скорость движения; 3 — скорость движения при спиральной намотке троса

**Рисунок 3. — Распределение льновороха по радиусу сушилки**



1 — равномерная скорость движения; 2 — рациональная скорость движения; 3 — скорость движения при спиральной намотке троса

**Рисунок 4. — Зависимость скорости движения транспортёра-загрузчика от времени сброса вороха**

Анализ полученных зависимостей показывает, что количество льновороха при использовании существующего транспортёра-загрузчика по внутреннему радиусу сушильной камеры в 4,15 раза превышает количество льновороха по внешнему радиусу. При спиральной намотке троса неравномерность загрузки сушильной камеры составляет 4,8...14,3%, и скорость движения транспортёра при спиральной намотке троса в большей степени соответствует рациональной, обеспечивающей равномерное распределение вороха.

**Заключение.** Неравномерность заполнения сушильной камеры карусельной сушилки по толщине слоя в производственных условиях достигает 45%. Это приводит к непроизводительным потерям тепла с отработавшим агентом сушки. В результате теоретических исследований работы транспортёра-загрузчика карусельной сушилки были получены математические выражения для определения переменной скорости движения рамы транспортёра-загрузчика, обеспечивающей равномерность загрузки льновороха в сушильную камеру карусельной сушилки не менее 85% за счёт увеличения скорости движения рамы от периферии к центру с сохранением скорости подачи вороха на транспортёре.

#### Список цитируемых источников

1. Крючков Е. Н. Ресурсосберегающее досушивание семенного вороха клевера на сушилках карусельного типа : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Горки, 1991. 173 л.
2. Обработка семенного вороха кормовых и технических культур / В. А. Шаршунов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1991. № 7. С. 9—10.
3. Определение скорости движения транспортёра-раздатчика для равномерной загрузки сушилки СКМ-1 / В. А. Шаршунов [и др.] // Inżynieria systemów bioagrotechnicznych: materiały 7 Międzynar. symp., Plock, maj 2001 r. / Politechnika Warszawska ; Komitet Naukowy: С. Cempel [et. al.]. Plock, 2001. S. 276—280.
4. Применение математических методов и ЭВМ. Планирование и обработка результатов эксперимента : учеб. пособие / А. Н. Останин [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Останина. Минск : Высш. шк., 1989. 218 с. ; Сильверстов Д. С., Семёнов Н. А. Пакеты прикладных программ статического анализа. Киев : Техника, 1990. 176 с.

The results of theoretical studies identify opportunities variable speed conveyor loader rotary dryers using the cable, winding on a shaft rotating at a constant angular velocity. The theoretical dependence to determine the speed of the conveyor, the radius of the shaft and the diameter of the cable.

**Key words:** conveyor loader, speed, time winding cable, winding angle of the cable.