

УДК 621. 869. 46.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОГРУЗЧИКОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ БУРТОВАННЫХ ГРУЗОВ

Хакимянов Р.Р.

*Саратовский государственный аграрный университет  
им. Н.И. Вавилова, Саратов, e-mail: khakrr@yandex.ru*

Рассматривается технологический процесс погрузки буртованных сельскохозяйственных грузов. Для погрузки органических удобрений, картофеля и зерна рассматриваются погрузчики с фрезерношнековым, роторным и барабанным питателем соответственно. Для достижения требуемой производительности разработанных погрузчиков исследованы кинематические параметры движения рабочих органов при различных условиях. Определена площадь боковой проекции стружки груза, отделяемой или захватываемой одним элементом питателя: ножом фрезы, лопастью ротора и планкой барабана. Представлены выражения для определения объема порции груза, получаемой при отделении одним рабочим элементом исследуемых питателей. С учетом конструктивных и режимных параметров питателей, а также физико-механических свойств груза получены выражения для определения производительности непрерывной погрузки буртованных грузов. Производительность зависит от поступательной скорости погрузчика, радиуса и угловой скорости питателя, конструктивных параметров ножа, лопасти и планки, а также физико-механических свойств груза.

**Ключевые слова:** погрузчик непрерывного действия, питатель, производительность, буртованные грузы

## THEORETIC STUDY OF THE PARAMETERS DETERMINING THE PRODUCTIVITY OF CONTINUOUS-ACTION LOADERS OF CLAMPED LOADS

Khakimzyanov R.R.

*Saratov State agrarian university named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: khakrr@yandex.ru*

The work looks into the technological process of loading agricultural loads stored in clamps. It conducts a theoretic analysis of the developed loaders with milling-screw, rotor drum feeders for loading organic fertilizers, potato and grain respectively. In order to achieve the required productivity of loaders, the study examines the cinematic parameters of operating elements' motion under various conditions. It determines the area of the side projection of the load chip separated or gripped by one feeder element: milling cutter, rotor blade and drum plank. The work presents the expressions for determining the volume of load portion obtained during load separation by one operating element of the studied feeders. Considering the constructive and regime parameters of a continuous-action loader, as well as the physical-mechanical properties of load, the study obtains the expressions for determining the productivity of continuous loading of clamped loads. Productivity depends on the forward speed of the loader, radius and angular speed of the feeder, constructive parameters of the cutter, blade and plank and the physical-mechanical properties of load.

**Keywords:** continuous-action loader, feeder, productivity, clamped loads

Погрузка буртованных сельскохозяйственных грузов погрузчиками непрерывного действия включает в себя следующие основные операции: отделение материала, захват и перемещение питателем, разгрузка питателя, перемещение отгрузочным транспортером, которые в зависимости от вида груза, его физико-механических свойств, дополняют друг друга при работе, и их согласованность является результатом эффективности погрузчика.

Для исследования процессов, проходящих при взаимодействии рабочих органов погрузчика с буртованными грузами, установления оптимальных параметров рабочих органов, с целью получения максимальной производительности, были разработаны погрузчики с фрезерным, роторным и барабанным питателями [1, 4, 5], отвечающие современным требованиям и сложившимся условиям производства. Независимо от того, сколько рабочих органов погрузчика

непрерывного действия участвуют в процессе погрузки, необходимо соблюдение условия – производительность последующих рабочих органов должна быть выше предыдущих [8].

Для теоретического определения производительности разработанных погрузчиков органических удобрений, картофеля и зерна исследованы кинематические параметры движения рабочих органов. К наиболее важным параметрам относятся площадь боковой проекции и объем стружки. Траектория движения некоторой заданной точки питателя, при его вращении с угловой скоростью  $\omega$ , поступательной скорости погрузчика  $v_{\text{п}}$ , описывается следующей системой параметрических уравнений [2, 7]:

$$\left. \begin{aligned} x &= r \cos(\omega t) + v_{\text{п}} t \\ y &= r \sin(\omega t) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $x$  и  $y$  – координаты заданной точки питателя в плоской системе координат;  $r$  – ра-

диус вращения заданной точки, м;  $t$  – время с момента начала движения, с.

Некоторые сельскохозяйственные грузы при длительном хранении изменяют свои физико-механические свойства. К этим грузам можно отнести органические удобрения и картофель, у которых возможно образование и обрушение сводов. Для обеспечения безопасной работы погрузчика необходимо послойно разрабатывать бурт. Данный процесс происходит при вращении питателя, перемещении рычага, на котором установлен питатель, со скоростью  $\omega_{рч}$  и фиксированном положении погрузчика ( $v_n = 0$ ). В этом случае характер движения заданной точки фрезерного и роторного питателей погрузчиков органических удобрений и картофеля схожий, параметрические уравнения запишутся:

$$\begin{cases} x = l_p \cos \theta + r \cos \phi; \\ y = l_p \sin \theta + r \sin \phi; \\ \theta = \theta_0 + \omega_{рч} t \\ \phi = \phi_0 + \omega t \end{cases}, \quad (2)$$

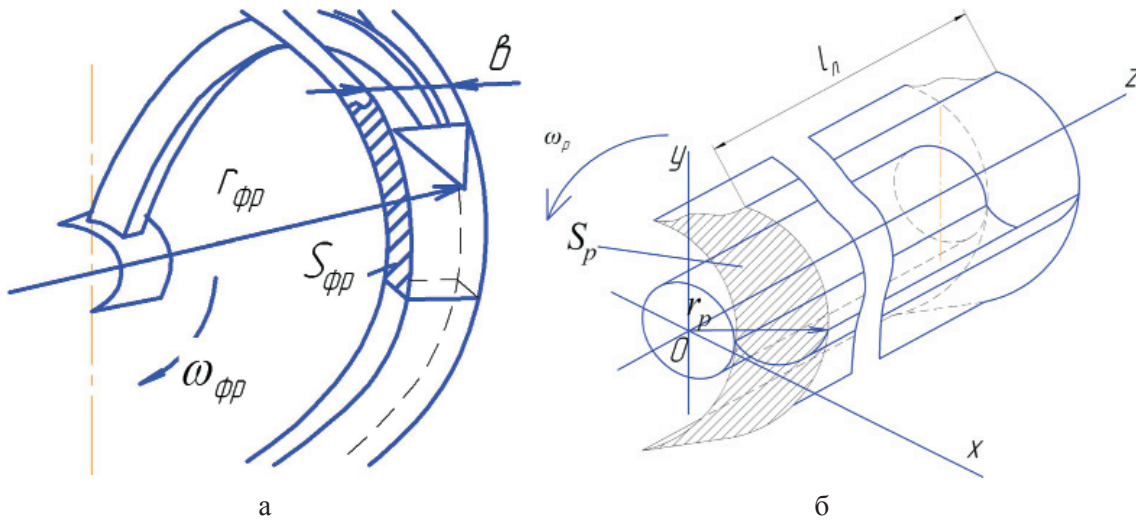


Рис. 1. Схема к определению площади боковой проекции стружки питателя: а – фрезерного; б – роторного

В общем виде площадь между двумя витками кривой, описываемой системой (2), определяется по выражению:

$$S = \pm \int_{t_1}^{t_2} y(t)x'(t) dt. \quad (3)$$

$$S = -[(l_p^2 \omega_{рч} + r^2 \omega) / 2] t_2 + l_p^2 \sin 2\theta / 4 + (r^2 \sin 2\phi) / 4 - [l_p r (\omega_{рч} + \omega) \sin(\theta - \phi)] / [2(\omega_{рч} - \omega)] + l_p r \sin(\theta + \phi) / 2, \quad (4)$$

где  $t_2$  – время, когда вступает в работу последующий нож или лопасть, с.

где  $\theta$  – угол поворота рычага, град;  $\theta_0$  – начальный угол поворота рычага, град;  $l_p$  – длина рычага, м;  $\phi$  – угол поворота питателя, град;  $\phi_0$  – начальный угол поворота питателя, град.

При работе погрузчика захват груза происходит при прохождении ножа, лопасти или планки исследуемых питателей через слой материала, где каждый из перечисленных элементов захватывает определенный объем груза, величина которого зависит от кинематических параметров работы питателя. К таким параметрам относятся поступательная скорость погрузчика, угловая скорость фрезерного  $\omega_{фр}$ , роторного  $\omega_r$  и барабанного  $\omega_b$  питателей, угловая скорость перемещения питателя. Данный процесс описывают параметрические уравнения [1, 2]).

Порция груза (рис. 1), получаемая при отделении от бурта фрезерным и роторным питателем, представляет собой геометрическую форму прямого цилиндра, поверхность  $S_{фр}$  и  $S_r$  которого является основанием, а высота данного цилиндра принимается равной ширине ножа  $b$  или длине лопасти  $l_n$ .

Для определения площади боковой проекции стружки барабанного питателя воспользуемся выражением:

$$S = \int_a^b [y_2(x) - y_1(x)] dx, \quad (5)$$

где  $a, b$  – координаты пересечения кривых по оси абсцисс,  $y_1(x)$  и  $y_2(x)$  – функции, образующие кривые, пересечение которых дает площадь фигуры, получаемой при отделении порции груза в соответствии с рис. 2.

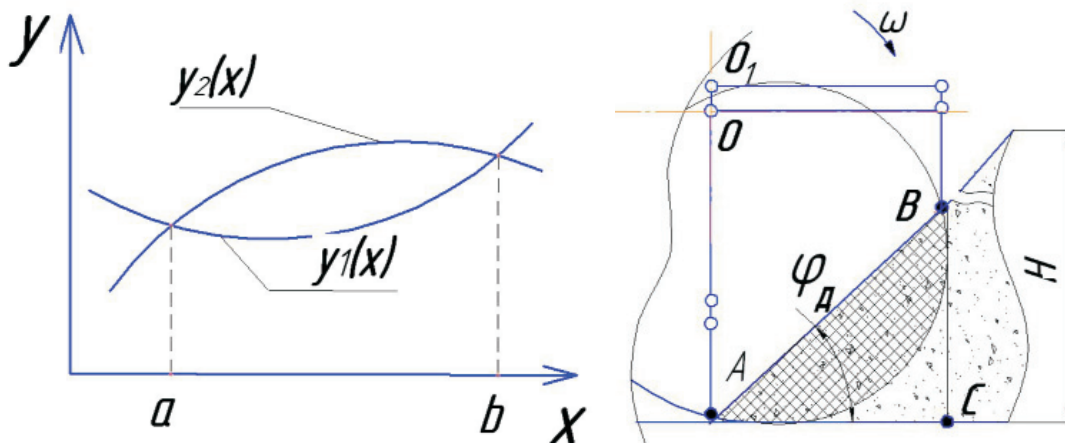


Рис. 2. Схемы к определению площади боковой проекции захватываемого груза барабанным питателем

Если площадь представить в виде разности интегралов:

$$S = \int_{t_0}^{t_1} y_2(t)x_2'(t) dt - \int_{t_0}^{t_1} y_1(t)x_1'(t) dt, \quad (6)$$

то первый интеграл можно рассматривать как площадь треугольника  $S_1$  и вычислить с использованием соответствующей геометрической формулы:

$$S_1 = 0,5x_1(t_1) \cdot y_1(t_1) = 0,5(r_6 \sin \omega t_1 + v_{\Pi} t_1)^2 \operatorname{tg} \phi_{\text{д}}, \quad (7)$$

второй интеграл представляет собой площадь, ограниченную траекторией движения нижней кромки планки и равен:

$$S_2 = \left( \frac{r_6^2 \omega}{2} + r_6 v_{\Pi} \right) \cdot (t_1 - t_0) + \frac{r_6^2}{4} \sin 2\omega t_1 + \left( r_6^2 + \frac{r_6 v_{\Pi}}{\omega} \right) \sin \omega t_1. \quad (8)$$

Имея формулы площади боковой поверхности стружки, отделяемой одним ножом, одной лопастью или планкой, можно

определить отделяемый от основного массива объем.

Для фрезерного и роторного питателей:

$$V_1 = Sb = b \left[ -((l_p^2 \omega_{\text{рч}} + r^2 \omega) / 2) t_2 + l_p^2 \sin 2\theta / 4 + r^2 \sin 2\phi / 4 - l_p r (\omega_{\text{рч}} + \omega) \sin(\theta - \phi) / (2(\omega_{\text{рч}} - \omega)) + l_p r \sin(\theta + \phi) / 2 \right]. \quad (9)$$

Для барабанного питателя

$$V_2 = l_{\Pi} \left[ \frac{1}{2} (r_6 \sin \omega_6 t_1 + v_{\Pi} t_1)^2 \operatorname{tg} \phi_{\text{д}} \right] - \left[ \left( \frac{r_6^2 \omega_6}{2} + r_6 v_{\Pi} \right) \cdot (t_1 - t_0) + \frac{r_6^2}{4} \sin 2\omega_6 t_1 + \left( r_6^2 + \frac{r_6 v_{\Pi}}{\omega} \right) \sin \omega_6 t_1 \right], \quad (10)$$

где  $r_6$  – радиус барабанного питателя, м;  $l_{\Pi}$  – длина планки, м;  $\phi_{\text{д}}$  – угол естественного откоса в движении, град.

С учетом объема порции отделяемого или захватываемого груза ниже приведены аналитические выражения производитель-

ности. Для погрузчика органических удобрений производительность будет зависеть от подачи задаваемой погрузчиком производительности шнека и фрезы [3].

$$Q_{\text{фр}} = \omega_{\text{фр}} \rho b n_{\text{н}} k_{\text{р}} / \pi \cdot \left[ - \left( (l_{\text{рр}}^2 \omega_{\text{ч}} + r_{\text{фр}}^2 \omega_{\text{фр}}) / 2 \right) t_2 + l_{\text{р}}^2 \sin 2\theta / 4 + r_{\text{фр}}^2 \sin 2\phi / 4 - \right. \\ \left. - l_{\text{р}} r_{\text{фр}} (\omega_{\text{рч}} + \omega_{\text{фр}}) \sin(\theta - \phi) / (2(\omega_{\text{рч}} - \omega_{\text{фр}})) + l_{\text{р}} r_{\text{фр}} \sin(\theta + \phi) / 2 \right], \quad (11)$$

где  $n_{\text{н}}$  – количество ножей в ряду, шт;  $k_{\text{р}}$  – количество рядов фрезы, шт.

Для погрузчика с роторным питателем производительность будет зависеть от по-

$$Q_{\text{р}} = [2\rho\omega_{\text{р}} l_{\text{л}} \left[ - \left( (l_{\text{рр}}^2 \omega_{\text{ч}} + r_{\text{р}}^2 \omega_{\text{р}}) / 2 \right) t_2 + l_{\text{р}}^2 \sin 2\gamma / 4 + (r_{\text{р}}^2 \sin 2\phi) / 4 - \right. \\ \left. - [l_{\text{р}} r_{\text{р}} (\omega_{\text{рч}} + \omega_{\text{р}}) \sin(\gamma - \phi)] / [2(\omega_{\text{рч}} - \omega_{\text{р}})] + l_{\text{р}} r_{\text{р}} \sin(\gamma - \phi) / 2 \right] / \pi. \quad (12)$$

Производительность отгрузочного транспортера погрузчика картофеля определится по методике [6, 8] с учетом коэффициента загрузки питателя по всей длине:

$$Q_{\text{тр}} = k_{\text{в}}^l k_{\beta} b_{\text{ск}} h v_{\text{тр}} \rho, \quad (13)$$

где  $k_{\text{в}}^l = V_{\text{гр}} / V_{\text{пр}}$  – коэффициент заполнения межскребкового пространства;  $V_{\text{гр}}$  – объем порции груза в межскребковом простран-

стве,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{пр}}$  – объем межскребкового пространства,  $\text{м}^3$ ;  $k_{\beta}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона транспортера на заполнение межскребкового пространства;  $h$  – высота скребка, м;  $b_{\text{ск}}$  – длина скребка, м;  $v_{\text{тр}}$  – скорость транспортирования, м/с;  $\rho$  – плотность груза,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для погрузчика с барабанным питателем производительность определится

$$Q = \rho l_{\text{п}} \left[ (r_6^2 \omega / 2 + r_6 v_{\text{п}}) \cdot (t_1 - t_0) + r_6^2 \sin 2\omega t_1 / 4 + (r_6^2 + r_6 v_{\text{п}} / \omega) \cdot \sin \omega t_1 - \right. \\ \left. - 0,5 \text{tg} \phi_{\text{д}} (r_6 \sin \omega t_1 + v_{\text{п}} t_1)^2 \right] \omega / \pi. \quad (14)$$

Таким образом получены математические выражения для определения производительности фрезерного, роторного и барабанного питателей погрузчиков непрерывного действия для органических удобрений, картофеля и зерна соответственно. Данные выражения учитывают характер движения рабочих органов, кинематические и конструктивные параметры, а также физико-механические свойства буртованного груза.

#### Список литературы

1. Дубинин В.Ф., Павлов П.И., Хакимзянов Р.Р. Фрезерно-шнековый питатель // Патент России № 17523. 2001. Бюл. № 10.
2. Ильин В.А., Садовничий В.А. Математический анализ. – М.: Наука, 1980. – 720 с.
3. Павлов П.И., Демин Е.Е., Хакимзянов Р.Р. Определение производительности фрезерующих рабочих органов погрузчика навоза // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 14–17.
4. Павлов П.И., Хакимзянов Р.Р., Леонтьев А.А., Демин В.В. Погрузчик картофеля // Патент России № 77855. 2008. Бюл. № 31.
5. Павлов П.И., Хакимзянов Р.Р., Сизов С.С., Съемщиков А.Е. Погрузчик зерна // Патент России № 88659. 2009. Бюл. № 32.
6. Павлов П.И., Хакимзянов Р.Р. Скребковый транспортер. – Саратов: Сарат. гос. агр. ун-т им. Н.И. Вавилова, 2006. – 56 с.
7. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление для вузов. – т.1. – М.: Наука, 1978. – 456 с.
8. Подъемно-транспортные машины / М.Н. Ерохин и др. – М.: КолосС, 2010. – 335 с.: ил. (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

#### References

1. Dubinin V.F., Pavlov P.I., Khakimzyanov R.R. Milling-screw feeder (Frezeroshnekovyy pitatel) // Russian Patent no. 17523. 2001. Bul. no. 10.
2. Ilyin V.A., Sadovnichiy V.A. Mathematical analysis (Matematichesky analiz). Moscow: Nauka. 1980.
3. Pavlov P.I., Demin E.E., Khakimzyanov R.R. Determining the productivity of milling operating bodies of manure loader (Opredelenie proizvoditelnosti frezeruyuschikh rabochikh organov pogruzchika navoza) // Technology in agriculture (Tekhnika v selskom khozyaystve). 2006. no. 4. 14–17.
4. Pavlov P.I., Khakimzyanov R.R., Leontyev A.A., Demin V.V. Potato loader (Pogruzchik kartofelya) // Russian Patent no. 77855. 2008. Bul. no. 31.
5. Pavlov P.I., Khakimzyanov R.R., Sizov S.S., Syemshchikov A.E. Grain loader (Pogruzchik zerna) // Russian Patent № 88659. 2009. Bul. no. 32.
6. Pavlov P.I., Khakimzyanov R.R. Drag conveyor (Skrebkovyy transporter) // Saratov State university named after N.I. Vavilov. Saratov. 2006.
7. Piskunov N.S. Differential and integral calculus for higher educational institutions (Differentsialnoye i integralnoye ischisleniye dlya VUZov). Vol. I. Moscow: Nauka. 1978.
8. Lifting-and-shifting machines (Pod'yemno-transportnyye mashiny) / M.N. Erokhin (and others). Moscow: KolosS. 2010.

#### Рецензенты:

Гребенников А.С., д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов;  
Басков В.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Организация перевозок и управления на транспорте», ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 01.08.2013.