

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПОГРУЗОЧНЫХ СРЕДСТВ С ПИТАТЕЛЕМ ВИНТОВОГО ТИПА

Хакимзянов Р.Р., Маштаков А.П., Хакимзянов Р.Р.
Российский университет транспорта, Москва

Ключевые слова: погрузчик непрерывного действия, питатель, рабочие органы, груз, траектория, производительность, энергоемкость.

Аннотация. Создание новых и модернизация существующих погрузочно-разгрузочных машин позволяет значительно сократить простои под погрузкой транспортно-технологических средств, повысить производительность комплексов и систем машин, снизить затраты труда при строительстве объектов транспортной инфраструктуры. Эффективность погрузчика определяется работоспособностью его рабочих органов и особенностью их взаимодействия с различными насыпными грузами. Погрузчики непрерывного действия, выпускаемые в настоящее время производителями погрузочной техники, отличаются характером движения рабочих органов, их количеством, взаимным расположением, конструктивным исполнением, а также способом воздействия на груз. Большое разнообразие конструктивно-технологических схем рабочих органов, осуществляющих захват, отделение и транспортирование материала, направлено на достижение максимальной производительности. Вместе с тем, увеличение производительности погрузочного средства без исследования мощности на привод рабочих органов, ведет к повышению энергоемкости процесса погрузки в целом. В статье рассматривается вопрос влияния пути, который проходит материал, взаимодействуя с рабочими органами погрузочного средства, на энергоемкость. Приводятся исследования характера движения груза на отдельных участках рабочих органов погрузчика, с учетом особенностей свойств насыпных грузов. Получены выражения для определения мощности на привод, энергоемкости в зависимости от траектории движения груза на каждом отдельном участке его перемещения.

ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS OF LOADING FACILITIES WITH A SCREW TYPE FEEDER

Khakimzyanov R.R., Mashtakov A.P., Khakimzyanov R.R.
Russian University of Transport, Moscow

Keywords: continuous loader, feeder, working bodies, cargo, trajectory, productivity, energy intensity.

Abstract. The creation of new and modernization of existing loading and unloading machines can significantly reduce downtime during loading of transport and technological facilities, increase the productivity of complexes and machine systems, and reduce labor costs during the construction of transport infrastructure facilities. The efficiency of a loader is crucially determined by the efficiency of its working bodies and the specifics of their interaction with various bulk cargoes. Continuous-action loaders currently produced by manufacturers of loading equipment differ in the nature of the movement of the working bodies, their number, relative position, design, as well as the way they affect the load. A wide variety of structural and technological schemes of working bodies that capture, separate and transport material is aimed at achieving maximum productivity. At the same time, increasing the productivity of the loading facility without examining the power to drive the working bodies leads to an increase in the energy intensity of the loading process as a whole. The article considers the issue of the influence of the path that the material passes through interacting with the working bodies of the loading facility on energy intensity. Studies of the nature of cargo movement in individual sections of the loader's working bodies are presented, taking into account the characteristics of the properties of bulk cargo. Expressions are obtained for determining the drive power and energy consumption, depending on the trajectory of the load, at each individual section of its movement.

Введение. Основой научно-технического прогресса в строительном комплексе страны является применение новых ресурсосберегающих технологий и средств механизации, благодаря которым возможно снижение себестоимости производимых работ. Для осуществления погрузочно-разгрузочных работ разработано большое количество различных конструктивно-технологических схем погрузчиков непрерывного действия, основными элементами которых являются: грузозахватное устройство – питатель и транспортирующее – отгрузочный транспортер, следующий непосредственно за питателем. По работе указанных элементов можно судить об эффективности всей машины [1].

Несмотря на получение высоких значений производительности, их конструктивные параметры и режимы работы не всегда соответствуют физико-механическим свойствам грузов, что приводит к росту энергоемкости. Перерасход энергии зачастую связан с несоответствием режимных и конструктивных параметров питателя и транспортера свойствам насыпных грузов, несогласованным взаимодействием рабочих органов, необоснованным характером движения материала. Исследование характера движения груза на отдельных участках, с учетом конструктивных особенностей рабочих органов, позволит получить выражения для определения энергоемкости в зависимости от траектории движения груза на каждом участке.

Анализ технологического процесса погрузки насыпных грузов погрузчиком непрерывного действия с винтовым питателем, позволит получить траекторию движения груза с момента захвата до разгрузки в транспортное средство. Рассмотрим взаимодействие рабочих органов с грузом на примере винтового питателя (рис. 1) [2].

Траектория движения груза, задаваемая данным питателем, будет сложной, зависящей от частоты вращения и диаметра шнека, конструкции лопастного загрузочного устройства, поступательной скорости погрузчика. При перемещении груза винтовым питателем, в соответствии с рисунком 2, траектория его будет колебательной.

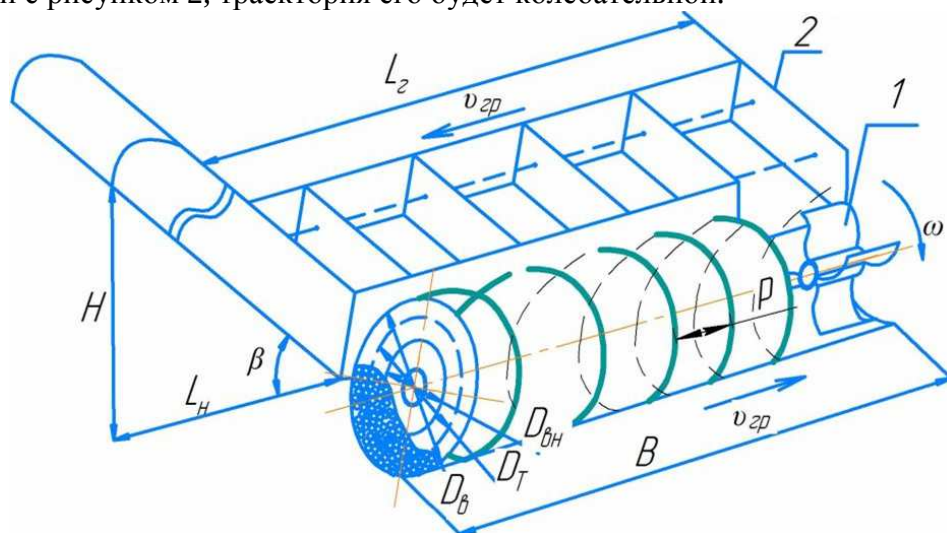


Рис. 1. Схема погрузчика сыпучих грузов: 1 – винтовой питатель с лопастным загрузочным устройством; 2 – скребковый отгрузочный транспортер

Получение оптимальной траектории движения материала позволит сократить время взаимодействия рабочих органов с грузом и достичь снижения энергоемкости [3].

Материалы и методы исследований. Мощность, необходимая на перемещение груза на отдельных участках погрузочного средства, зависит от режимных, конструктивных параметров погрузчика, физико-механических свойств груза, и от характера его движения, т.е. траектории, задаваемой конструктивными и режимными параметрами рабочих органов.

Длина траектории движения груза перемещаемого рабочими органами погрузчика непрерывного действия с винтовым питателем и скребковым отгрузочным транспортером [4]:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4, \quad (1)$$

где S_1 – траектория движения груза, задаваемая винтовой поверхностью питателя, м (рис. 2); S_2 – траектория движения груза задаваемая лопатками загрузочного устройства винтового питателя, м (рис. 3); S_3 , S_4 – траектории движения груза, задаваемые горизонтальной и наклонной частями отгрузочного скребкового транспортера соответственно (рис. 2) [5].

$$E_{СП} = (P_{тр.пит} + P_m + P_{отгр}) / Q_1, \quad (2)$$

где $E_{СП}$ – энергоемкость погрузки сыпучих грузов, Дж/кг; $P_{тр.пит}$ – мощность затрачиваемая на транспортирование груза питателем, Вт; P_m – мощность затрачиваемая на загрузку транспортера, Вт; $P_{отгр}$ – мощность затрачиваемая на привод отгрузочного транспортера, Вт; Q_1 – производительность питателя, кг/с.

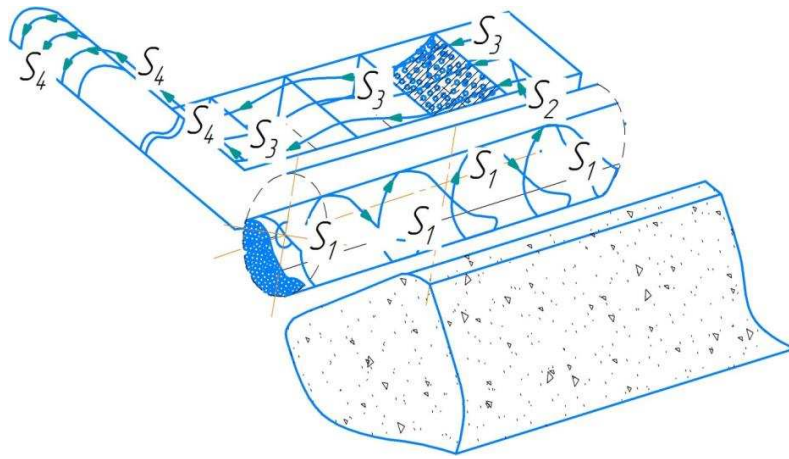


Рис. 2. Траектория движения груза перемещаемого погрузчиком сыпучих грузов

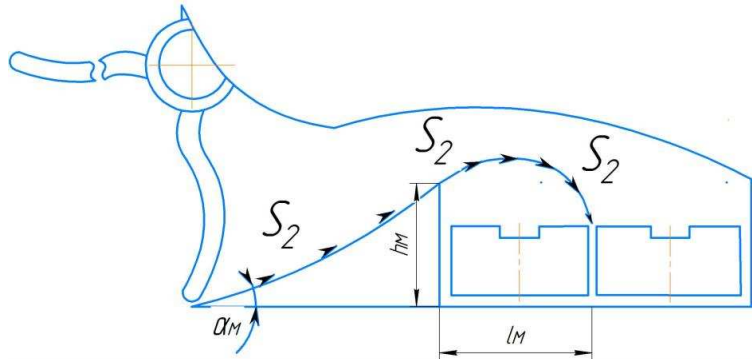


Рис. 3. Траектория движения груза, задаваемая лопатками загрузочного устройства винтового питателя: α_m – угол подъема порции груза, град; h_m – высота подъема порции груза, м; l_m – расстояние до центра желоба, м

Мощность, затрачиваемая на транспортирование груза питателем [6]:

$$P_{mp.num} = \frac{[f_2(g \cos \varepsilon + R_B \omega^2) + \frac{\omega^2 R_B}{\varphi_{раз}} + g f_{вн}] m k_{fB} k_{mp} \omega z_B \sqrt{(S_1^2 - (B/z_B)^2) / 39,4}}{\sin \alpha - f_1 \cos \alpha}, \quad (3)$$

где f_2 – коэффициент трения груза о кожух; ε – угол положения точки относительно вертикальной оси; R_B – наружный радиус винта, м; ω – угловая скорость питателя, рад/с; $\varphi_{раз}$ – угол разгона груза, рад; $f_{вн}$ – коэффициент внутреннего трения груза; m – масса частиц груза, кг; k_{fB} – коэффициент, учитывающий силу внутреннего трения груза и силу, дополнительно прижимающую груз к кожуху; k_{mp} – коэффициент, учитывающий отклонения в движении груза от прямолинейного; z_B – количество витков питателя, шт; α – угол подъема винтовой линии; f_1 – коэффициент трения груза о винт; B – ширина захвата питателя, м, $B = L_z$ – длина горизонтальной части транспортера, м.

Мощность, затрачиваемая на загрузку транспортера [7]:

$$P_m = \left[\frac{S_2}{t^2} + g (\sin \alpha_m + f \cos \alpha_m) \right] \rho V v, \quad (4)$$

где α_m – угол подъема порции груза, град; f – коэффициент трения; ρ – плотность груза, кг/м³; V – объем перемещаемого груза, м³; v – скорость движения частицы груза, м/с.

Мощность, затрачиваемая на привод отгрузочного транспортера, определится по выражению [8]:

$$P_{отгр} = Q_2 g k_u (S_3 k_{c2} + S_4 + k_{f\beta} \cos \beta), \quad (5)$$

где k_u – коэффициент, учитывающий потери мощности при пуске; k_{c2} – коэффициент сопротивления движению на горизонтальном участке; $k_{f\beta}$ – коэффициент сопротивления движению на наклонном участке; β – угол установки транспортера, град; Q_2 – производительность отгрузочного скребкового транспортера, кг/с.

В свою очередь производительность питателя определится по [9]:

$$Q_1 = \rho \cdot \frac{\pi(D_B^2 - D_{BH}^2)}{4} \cdot k_n \cdot \frac{pn}{60} = \rho \frac{\pi D_T^3}{8} k_p k_{II} \omega, \quad (6)$$

где D_T – диаметр транспортирующей части питателя, м; D_{BH} – внутренний диаметр поперечного сечения потока груза, м; D_B – наружный диаметр шнековой транспортирующей части (диаметр винта), м; k_n – коэффициент скорости, характеризующий отставание груза от теоретической скорости движения винтовой поверхности; p – шаг винтовой поверхности, м; n – частота вращения питателя, c^{-1} ; k_p – коэффициент шага винта; k_{II} – коэффициент производительности.

Производительность отгрузочного скребкового транспортера Q_2 должна быть больше производительности винтового питателя Q_1 и определяется по известным методикам [10].

Результаты. Минимальное значение энергоемкости погрузчика с винтовым питателем при погрузке сыпучих грузов составит 200...220 Дж/кг при частоте вращения питателя 1,1...1,3 c^{-1} (рис. 5) и при длине траектории движения груза 10-12 метров (рис. 6). Длина траектории перемещения груза с момента захвата питателем до разгрузки в транспортное средство при данной конструктивно-технологической схеме определится по выражению:

$$S = z_B \sqrt{p^2 + (\pi D_T)^2} + \frac{l_m \cdot t}{\cos \alpha_m \sqrt{2(l_m \cdot \operatorname{tg} \alpha_m + h_m) / g}} + B + \sqrt{L_n^2 + H^2}, \quad (7)$$

где L_n – длина наклонной части транспортера в горизонтальной плоскости, м; H – высота подъема груза, м.

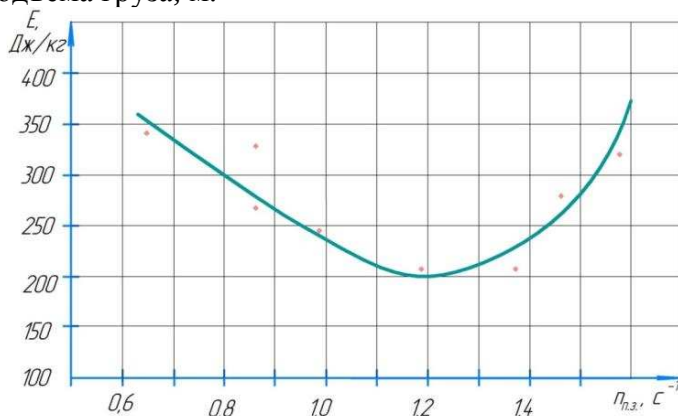


Рис. 5. Зависимость энергоемкости процесса погрузки сыпучих грузов от частоты вращения винтового питателя

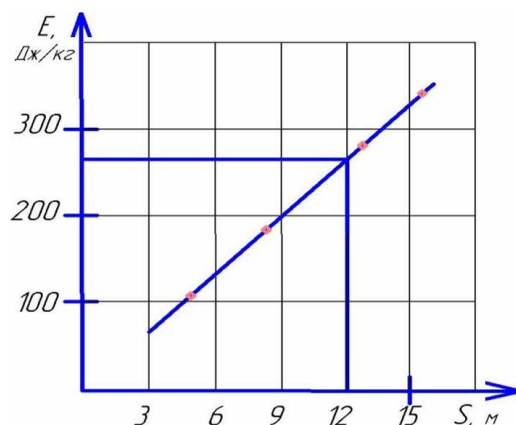


Рис. 6. Зависимость энергоемкости процесса погрузки сыпучих грузов от длины траектории движения материала

Закключение. Таким образом, энергоемкость процесса погрузки сыпучих грузов хранящихся в насыпи будет зависеть от траектории движения груза, перемещаемого от места захвата винтовым питателем и до разгрузки в транспортное средство. На длину пути, который проходит частица груза, взаимодействуя с рабочими органами, оказывают влияние конструктивные параметры винтового питателя, лопастного загрузочного устройства и скребкового транспортера.

Список литературы

1. Демин Е.Е., Глазунов М.В., Комиссаров А.А., Бубнов Е.В. Система уравнений, описывающих поверхность геликоида шнека-мотовила для уборки подсолнечника // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Национальной научно-технической конференции с международным участием имени В.В. Михайлова. – Саратов: ООО "Амирит", 2020. – С. 149-155.
2. Павлов П.И., Полосухин В.С. Метод повышения эффективности погрузчиков непрерывного действия для буртованных грузов // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: Материалы Международного научно-технического семинара имени В.В. Михайлова. – Саратов: ООО "Амирит", 2019. – С. 197-202.
3. Павлов П.И., Корсак В.В., Везиров А.О., Мухин Д.В. Исследование влияния конструктивных и режимных параметров комбинированного укладчика на мощность привода рабочих органов // Аграрный научный журнал. – 2019. – №5. – С. 82-85. – doi.org/ 10.28983/asj.y2019i5pp82-85.

4. Павлов П.И., Корсак В.В., Павлов И.П., Дзюбан И.Л. Экспериментальное исследование производительности погрузчика корнеклубнеплодов с лопастным питателем // Аграрный научный журнал. – 2022. – №10. – С. 108-110. – doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp108-110.
5. Павлов П.И., Полосухин В.С. Теоретическое обоснование критериев подобия зернопогрузчика непрерывного действия с винтовым рабочим органом // Аграрный научный журнал. – 2021. – №7. – С. 95-99. – doi.org/10.28983/asj.y2021i7pp95-99.
6. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
7. Павлов П.И., Корсак В.В., Овчинникова Т.В. Экспериментальное исследование мощности для привода пневмовинтовой установки при транспортировании зерна // Аграрный научный журнал. – 2018. – №5. – С. 56-58. – doi.org/10.28983/asj.v0i5.477.
8. Хакимзянов Р.Р., Маштаков А.П., Хакимзянов Р.Р. Анализ энергоёмкости технологического процесса погрузки уплотнённых грузов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №17-1. – С. 90-95. – doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-90-95.
9. Хакимзянов Р.Р., Марченко А.Б., Москвичев А.С. Пути совершенствования погрузчиков непрерывного действия с двухфазным рабочим органом // Транспортное строительство: Сборник статей второй всероссийской научно-технической конференции. – М.: Изд-во "Перо", 2021. – С. 111-116.
10. Хакимзянов Р.Р., Линькова И.В., Дедушкин Н.А. Обзор конструктивных схем питателей винтового типа // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: сборник материалов XXIII Международной научно-практической конференции. – М.: Алеф, 2023. – С. 302-308.

References

1. Demin E.E., Glazunov M.V., Komissarov A.A., Bubnov E.V. System of equations describing the surface of the helicoid of a screw-reel for harvesting sunflower // Problems of efficiency and operation of automotive equipment: Materials of the V.V. Mikhailov National Scientific and Technical Conference with international participation. – Saratov: LLC "Amirit", 2020. – P. 149-155.
2. Pavlov P.I., Polosukhin V.S. Method of increasing the efficiency of continuous loaders for bulked loads // Problems of efficiency and operation of automotive equipment: Materials of the International Scientific and Technical Seminar named after V.V. Mikhailov. – Saratov: LLC "Amirit", 2019. – P. 197-202.
3. Pavlov P.I., Korsak V.V., Vezirov A.O., Mukhin D.V. Investigation of the influence of design and operating parameters of a combined stacker on the drive power of working bodies // Agrarian Scientific Journal. 2019, no. 5, pp. 82-85. doi.org/10.28983/asj.y2019i5pp82-85.
4. Pavlov P.I., Korsak V.V., Pavlov I.P., Dzyuban I.L. Experimental study of the productivity of a loader of root crops with a paddle feeder // Agrarian Scientific Journal. 2022, no. 10, pp. 108-110. doi.org/10.28983/asj.y2022i10pp108-110.
5. Pavlov P.I., Polosukhin V.S. Theoretical substantiation of the similarity criteria of a continuous grain loader with a screw working body // Agrarian Scientific Journal. 2021, no. 7, pp. 95-99. doi.org/10.28983/asj.y2021i7pp95-99.
6. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. Transporting machines. – M.: Mechanical Engineering, 1983. – 487 p.
7. Pavlov P.I., Korsak V.V., Ovchinnikova T.V. Experimental study of power for the drive of a pneumatic screw installation during grain transportation // Agrarian Scientific Journal. 2018, no. 5. pp. 56-58. doi.org/10.28983/asj.v0i5.477.
8. Khakimzyanov R.R., Mashtakov A.P., Khakimzyanov R.R. Analysis of the energy intensity of the technological process of loading compacted cargo // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2022, no. 17-1, pp. 90-95. doi.org/10.26160/2658-3305-2022-17-90-95.
9. Khakimzyanov R.R., Marchenko A.B., Moskvichev A.S. Ways to improve continuous-action loaders with a two-phase working body // Transport construction: Collection of articles of the second All-Russian Scientific and Technical Conference. – Mo.: Pero Publ. house, 2021. – P. 111-116.
10. Khakimzyanov R.R., Linkova I.V., Dedushkin N.A. Review of structural schemes of screw type feeders // Development of science and practice in a globally changing world at risk: proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference. – M.: Alef, 2023. – P. 302-308.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хакимзянов Рустам Рафитович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортное строительство»	Khakimzyanov Rustam Rafitovich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of "Transport construction"
Маштаков Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теоретическая и прикладная механика»	Mashtakov Aleksandr Petrovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of "Theoretical and applied mechanics"
Хакимзянов Роман Рустамович – аспирант	Khakimzyanov Roman Rustamovich – postgraduate student
khakrr@yandex.ru	

Получена 09.02.2025