

5. Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrasive wear [Abrasive wear]. M.: Nauka [Science], 1970. 252 p.
6. Aldoshin N.V. Kontrol' kachestva izdeliy vybyvshey iz ekspluatatsii tekhniki [Quality control of the withdrawn equipment parts] // Tekhnika v sel'skom khozyaystve [Farm Machinery]. 2010. № 4. P. 30–33.
7. Erokhin M.N. Novoe v teorii traktora [New issues in the tractor theory] // Traktory i sel'khoz mashiny [Tractors and Farm Machinery]. 2014. № 9. P. 50–52.
8. Anderson T.L. Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 1994.
9. Kozyrev V.V. Metalloorganicheskie soedineniya v mashinostroenii i remontnom proizvodstve: Monografiya [Organometallic compounds in engineering and repair production: Monograph]. Tver': Publishing House Studiya-S, 2003. 160 p.
10. Syrkin V.G. Gazofaznaya metallizatsiya cherez karbonily [Gas-phase metallization through carbonyls]. M.: Metallurgiya [Metallurgy], 1985. 248 p.
11. Razuvaev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A. i dr. Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike [Organometallic compounds in electronics]. M.: Nauka [Science], 1972. 479 p.
12. Gribov B.G., Domrachev G.A., Zhuk B.V. i dr. Osazhdenie plenok i pokrytiy razlozheniem metalloorganicheskikh soedineniy [Deposition of films and coatings with decomposition of organometallic compounds]. M.: Nauka [Science], 1982. 322 p.
13. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Primenenie karbonil'nogo khroma dlya polucheniya uprochnyayushchikh pokrytiy na detalyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The use of carbonyl chromium for making hardening coatings of farm machinery parts] // Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennyye problemy osvoeniya novoy tekhniki, tekhnologii, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK” [Proceedings of the International scientific-practical conference “Modern problems of the development of new techniques, technologies, and organization of technical service in agriculture”]. Minsk: BGATU, 2014. Ch. 1. P. 275–278.

Nikolai N. Chupyatov – PhD (Eng), a post-doctorate researcher, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 172383, Tver region, Rzhev, Kranostroiteley ul, 19, apt. 38; phone: + 7-915-721-40-71; e-mail: nikolaj-ch@mail.ru.

Received on December 28, 2015

УДК 621(075.8)

А.Е. ПАВЛОВ, С.В. СОРОКИН, Л.А. ПАВЛОВА

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

ТРЕХПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОБОТИЗИРОВАННОГО УКЛАДЧИКА ШТУЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Роботизированные устройства в агропромышленном комплексе значительно облегчают выполнение однотипных операций, зачастую производимых вручную. Для совершенствования механизмов требуется проведение теоретических расчётов. В настоящей работе с помощью методов теоретической механики найдены законы движения двух ведущих звеньев, обеспечивающих безостановочное транспортирование захватного устройства по криволинейной траектории. Определены функции перемещений и скоростей ведущих звеньев, позволяющие исключить ручное программирование методом обучения. Предложен математический метод задания координат этих звеньев во время рабочего и холостого ходов. Кроме того, полученные траектории схвата гарантируют надёжную многослойную укладку. Данная модель надёжной многослойной укладки штучных продуктов в тару с высокими стенками позволяет существенно упростить действующие укладчики, исключив из их конструкции механизм периодического опускания стола, на котором установлена тара.

Ключевые слова: укладчик, вакуумный схват, кинематика звеньев.

Значительное число вспомогательных однообразных операций по фасовке, укладке и упаковке в АПК ещё выполняется вручную. Применение роботизированных устройств создаёт условия для перехода к автоматическим производственным комплексам, надёжно и экономически эффективно работающим при высоком качестве сельскохозяйственной продукции с минимальным обслуживающим персоналом [1].

Современное состояние управляющих и информационно-измерительных средств позволяет создавать роботизированные комплексы из технологического и транспортного оборудования. Наиболее рациональными для роботизации оказались операции на выходах технологических процессов: например, укладка продуктов различного ассортимента в тару [2...4].

Данный плоский механизм (рис. 1) предназначен для захвата, переноса и укладки продукта, подаваемого транспортёром I, в тару (коробку, подложку), находящуюся на транспортёре II упаковочной машины.

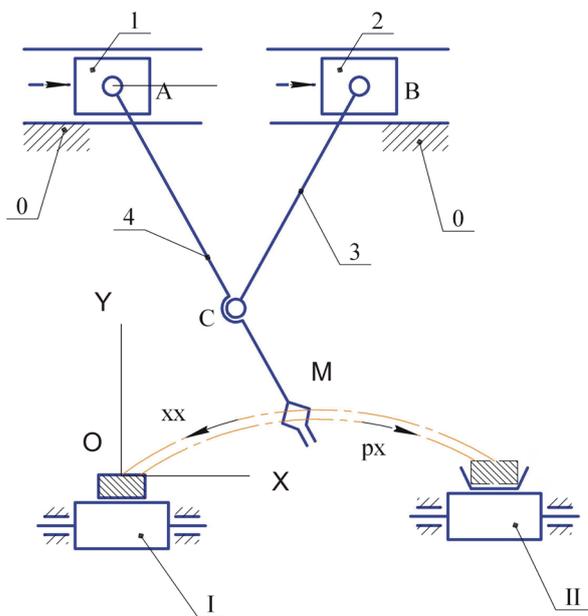


Рис. 1. Принципиальная схема укладчика

В начальном положении механизма вакуумный схват находится над продуктом. После захвата продукта укладчик осуществляет рабочий ход, при котором схват, установленный на шатуне 4, перемещается по криволинейной траектории и оказывается над тарой. После снятия разряжения в полости схвата продукт укладывается в тару. Требуемое перемещение схвата реализуют два независимых друг от друга серводвигателя, роторы которых передают движение на ползуны I и 2. Холостой ход осуществляется при реверсировании этих двигателей. Таким образом, укладчик приводится в действие

двумя ведущими звеньями 1 и 2, синхронно перемещающимися по неподвижной направляющей 0, при этом шатун 3 является промежуточным, а шатун 4 – выходным звеном.

Рассмотрим принципиальную схему и технические характеристики данного укладчика. Введём систему координат Oxy : ось Ox направим по горизонтали вправо параллельно перемещению ползунков, ось Oy – вертикально вверх. Центр схвата M в начальный момент времени находится в начале координат O . По условию задачи длины шатунов равны $AC = CB = l = 0,5$ м, так что образовавшийся треугольник ΔABC – равнобедренный. Длина выходного звена $AM = L = 1,3$ м, начальный угол его наклона к горизонтальной оси $\varphi_0 = \pi/3$. Максимальное перемещение центра схвата по горизонтальной оси $\Delta x_M = 0,25$ м. Равноделённый цикл одной операции укладки, состоящий из времени рабочего хода и времени холостого хода механизма, составляет $T = t_{px} + t_{xx} = 2$ с.

Методы исследования

Для решения задачи используем методы теоретической механики. Уравнение движения ползуна A определим формулой [5, 6]

$$x_A(t) = -L \cos \varphi_0 + \Delta x_A \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right), \tag{1}$$

где Δx_A – параметр модели. Уравнение движения ползуна B зададим в виде

$$x_B(t) = -(L + 2l) \cos \varphi_0 + C \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right) + D \sin^2 \left(\frac{2\pi t}{T} \right), \tag{2}$$

где C, D – параметры.

Таким образом, в нашей модели имеются три подгоночных параметра $\Delta x_A, C, D$. Скорость ползуна B получим, продифференцировав по времени уравнение (2):

$$v_B(t) = \frac{\pi}{T} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \left(C + 4D \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right). \tag{3}$$

Условие устранения реверсного хода ползуна B на фазе рабочего хода даёт ограничения на параметры C и D :

$$C \geq 4D. \tag{4}$$

Тогда выражение в скобках в формуле (3) не будет обращаться в ноль в промежуточных точках траектории.

Уравнения движения точки M имеют вид:

$$x_M(t) = \left(\Delta x_A \left(1 - \frac{L}{2l} \right) + \frac{L}{2l} C \right) \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right) + D \frac{L}{2l} \sin^2 \left(\frac{2\pi t}{T} \right), \tag{5}$$

$$y_M(t) = L \sin \varphi_0 - \frac{L}{2l} \sqrt{4l^2 - \left[2l \cos \varphi_0 + (C - \Delta x_A) \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right) + D \sin^2 \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right]^2}. \quad (6)$$

Из условий укладки продукта в намеченное место с координатами $(\Delta x_M, h)$ – высота от верхнего уровня первого продукта, помещенного на дно тары)

$$x_M(T/2) = \Delta x_M, \quad y_M(T/2) = h, \quad (7)$$

получаем из (5), (6) два уравнения на два параметра Δx_A и C :

$$\left(1 - \frac{L}{2l} \right) \Delta x_A + \frac{L}{2l} C = \Delta x_M, \quad (8)$$

$$L \sin \varphi_0 - \frac{L}{2l} \sqrt{4l^2 - [2l \cos \varphi_0 + C - \Delta x_A]^2} = h. \quad (9)$$

Решения системы уравнений (8), (9) имеют вид:

$$\Delta x_A = \Delta x_M - \left(\sqrt{L^2 - (L \sin \varphi_0 - h)^2} - L \cos \varphi_0 \right) \quad (10)$$

$$C = \Delta x_M - \frac{L - 2l}{L} \left(\sqrt{L^2 - (L \sin \varphi_0 - h)^2} - L \cos \varphi_0 \right). \quad (11)$$

Скорость точки M получаем, дифференцируя по времени выражения (5–6):

$$v_{Mx} = \frac{\pi}{T} \left(\Delta x_A \left(1 - \frac{L}{2l} \right) + \frac{L}{2l} C + \frac{2L}{l} D \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right) \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right), \quad (12)$$

$$v_{My} = \frac{\pi L}{2l} \frac{\left(2l \cos \varphi_0 + (C - \Delta x_A) \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right) + D \sin^2 \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right) \left(C - \Delta x_A + 4D \cos \frac{2\pi t}{T} \right)}{\sqrt{4l^2 - \left[2l \cos \varphi_0 + (C - \Delta x_A) \sin^2 \left(\frac{\pi t}{T} \right) + D \sin^2 \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right]^2}} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right).$$

Значение производной $y'_M(x)$ при $t = T/2$ получим как отношение проекций скоростей точки M (12) в момент укладки:

$$\frac{v_{My}(T/2)}{v_{Mx}(T/2)} = \frac{L(2l \cos \varphi_0 + C - \Delta x_A)(C - 4D - \Delta x_A)}{(L(C - 4D) - (L - 2l)\Delta x_A) \sqrt{4l^2 - [2l \cos \varphi_0 + C - \Delta x_A]^2}}. \quad (13)$$

Оставшийся свободный параметр модели D зафиксируем требованием:

$$D = \frac{C}{4} - \frac{L - 2l}{4L} \Delta x_A. \quad (14)$$

При выполнении этого условия производная (13) обращается в бесконечность. Следовательно, при выбранных значениях параметров робот-укладчик в конце рабочего хода положит продукт в тару вертикально вниз, что идеально при многослойной укладке.

Семейство траекторий точки M , которые заданы уравнениями движения (5), (6), представлено на рисунке 2 для высот $h = 0$ м; 0,1 м; 0,2 м трёх слоёв продукта.

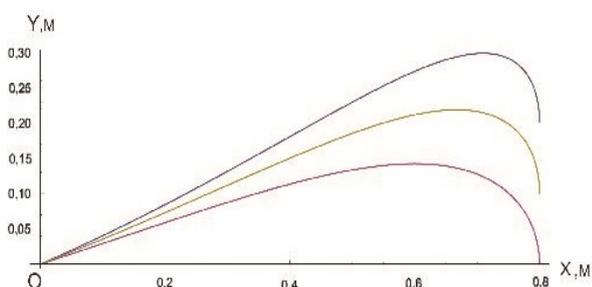


Рис. 2. Семейство траекторий центра схвата

Практическая значимость

Практическая значимость предлагаемой модели надёжной многослойной укладки штучных продуктов в тару с высокими стенками состоит в том, что данная модель позволяет существенно упростить действующие укладчики [7, 8], исключив из их конструкции механизм периодического опускания стола, на котором установлена тара.

Библиографический список

1. Информационные материалы 20-й Международной выставки «Агропродмаш 2015». Москва, 12–16 октября 2015 г.

2. Фролов К.В., Попов С.А., Мусатов А.К. и др. Теория механизмов и механика машин. Москва: Высшая школа, 2001.
3. Pavlov A.E., Sorokin S.V., Pavlova L.A. Robotic stacker of piece products. European Science and Technology: 6th International scientific conference. Munich. Germany. V. 1. 2013. P. 16–23.
4. Белов М.И., Павлов А.Е., Сорокин С.В. Стрoение и кинематика укладчика штучных продуктов // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 2. С. 25–27.
5. Павлов А.Е., Павлова Л.А. Теоретическая механика. Конспект лекций. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. Germany. 2013. <http://www.ljubljuknigi.ru/>.
6. Павлов А.Е., Павлова Л.А. Динамика твёрдого тела для агроинженеров. Конспект лекций. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. Germany. 2014. <http://www.ljubljuknigi.ru/>.
7. РФ на полезную модель № 135621. МПК В65В 5 /10. Устройство для укладки штучных продуктов в тару. Белов М.И., Павлов А.Е., Сорокин С.В. Заявка 2012158012/13, 28.12.2012 г.; опубликовано 20.12.2013 Бюл. № 35.
8. Заявка РФ на изобретение № 2015117401. Устройство для послышной укладки продуктов в тару. Казанцев С.П., Сорокин С.В., Белов М.И., Павлов А.Е. Заявка 2012117401(22), 07.05.2015 г.; уведомление о положительном результате формальной экспертизы 2015.07.14.

Павлов Александр Егорович – к.физ.-мат.н., доцент кафедры сопротивления материалов и деталей машин РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127550, Москва, Лиственничная аллея, д. 7, стр.2; тел.: +7 (925) 873-19-30; e-mail: alexpavlov60@mail.ru.

Сорокин Сергей Васильевич – к.т.н., доцент кафедры сопротивления материалов и деталей машин РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127550, Москва, Лиственничная аллея, д. 7, стр. 2; тел.: +7 (917) 545-46-42; e-mail: sergsor2011@yandex.ru.

Павлова Лариса Александровна – доцент кафедры высшей математики РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, Лиственничная аллея, 2А; тел.:+7 (926) 381-83-90; e-mail: krasilnikowa.larisa2011@yandex.ru.

Статья поступила 27.10.2015

THREE-PARAMETER MODEL OF ROBOTIC STACKER OF PIECE PRODUCTS

A.YE. PAVLOV, S.V. SOROKIN, L.A. PAVLOVA

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Robotic devices employed in agriculture make it much easier to perform typically manual operations. Improving the mechanisms requires some theoretical calculations to be made. The paper outlines the patterns of motion of two leading units providing a non-stop transporting of the gripper along a curved path, the patterns being established using the methods of theoretical mechanics. The authors determine displacement and velocity functions of the leading units, providing for the elimination of manual programming by instructing, present a mathematical method of determining the coordinates of these units on the working and idle strokes, and claim that the gripping trajectories ensure reliable multi-layer stacking. This model of reliable multi-layer stacking of piece goods in a high-walled container can greatly simplify the existing handlers, freeing their design from the mechanism for periodic lowering of the container table.

Key words: stacker, vacuum gripper, kinematics of links.

References

1. Information materials of the 20th International Exhibition “Agroprodmash 2015”. Moscow, October 12–16, 2015.
2. Frolov K.V., Popov S.A., Musatov A.K. et al. Teoriya mekhanizmov i mekhanika mashin [The theory of mechanisms and machinery mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 2001.
3. Pavlov A.Ye., Sorokin S.V., Pavlova L.A. Robotic stacker of piece products. European Science and Technology: 6th International scientific conference. Munich. Germany. V. 1, P. 16–23, 2013.
4. Belov M.I., Pavlov A.Ye., Sorokin S.V. Stroenie i kinematika ukladchika shtuchnykh produktov [The structure and kinematics of the stacker of piece products] // Traktory i sel'khoz mashiny [Tractors and Farm Machinery]. № 2. 2013. P. 25–27.
5. Pavlov A.Ye., Pavlova L.A. Teoreticheskaya mekhanika. Konspekt lektsiy. [Theoretical Mechanics. Lectures]. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrucken. Germany. 2013. <http://www.ljubljuknigi.ru/>.

6. Pavlov A. Ye., Pavlova L. A. Dinamika tverdogo tela dlya agroinzhenerov. Konspekt lektsiy. [Rigid Body Dynamics for Agricultural Engineers. Lectures]. LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Germany. 2013. <http://www.ljpubljuknigi.ru/>.

7. RF patent for utility model № 135621. IPC B65B 5/10. Device for stacking piece goods in containers. Belov M. I., Pavlov, A. E., Sorokin S. V. Ap-

plication 2012158012/13 of 28.12.2012; published on 12.20.2013. Bulletin № 35.

8. RF Application for the invention № 2015117401. Device for layer stacking piece goods in containers. Kazantsev S. P., Sorokin S. V., Belov M. I., Pavlov A. Ye. Application 2012117401 (22) of 05.07.2015; notification of the positive result of the formal examination of 2015.07.14.

Aleksandr Ye. Pavlov – PhD (Phys-Math), Associate Professor, “Strength of Materials and Machine Parts” Department; 127550, Listvennichnaya ul., 7, Moscow; phone: +7 (925) 873-19-30; e-mail: alexpavlov60@mail.ru.

Sergey V. Sorokin – PhD (Eng), Associate Professor, “Strength of Materials and Machine Parts” Department; 127550, Listvennichnaya ul., 7, Moscow; phone: +7 (917) 545-46-42; e-mail: sergsor2011@yandex.ru.

Larisa A. Pavlova – Associate Professor, “Higher Mathematics” Department; 127550, Listvennichnaya ul., 2A, Moscow; phone: +7 (926) 381-83-90; e-mail: krasilnikowa.larisa2011@yandex.ru.

Received on October 27, 2015

УДК 631.372

А.Н. СИМОНЕНКО

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева

ТЯГОВО-ПРИВОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Целью исследований является оптимизация комплектования машинно-тракторного агрегата с активными рабочими органами с визуализацией выбора режима работы, особенно при недогрузках двигателя и технологических ограничениях. Приведен обзор требований, предъявляемых к приводу вала отбора мощности, со стороны сельскохозяйственных машин с активными рабочими органами. Предлагаемая методика графоаналитического расчета для составления (комплектования) машинно-тракторных агрегатов с АРО, в отличие от существующей «по максимальной мощности», позволяет выбирать и оптимизировать режимы работы и при неполной загрузке двигателя трактора с учетом ограничений со стороны АРО сельскохозяйственной машины.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, трактор, сельскохозяйственная машина, активные рабочие органы, вал отбора мощности, тягово-приводная характеристика.

Оптимизация комплектования машинно-тракторного агрегата с активными рабочими органами с визуализацией выбора режима работы является важной задачей решения вопросов ресурсосбережения, эффективной эксплуатации техники, минимизации затрат на поддержание техники в исправном состоянии и др. [1, 2].

Приводится предлагаемая методика графоаналитического расчета при построении тягово-приводной характеристики машинно-тракторного агрегата с активными рабочими органами, позволяющая визуально выбрать оптимальный режим работы при приведении крутящих моментов к валу отбора мощности.

Целью исследований является оптимизация комплектования машинно-тракторного агрега-

та с активными рабочими органами с визуализацией выбора режима работы, особенно при недогрузках двигателя и технологических ограничениях.

Тяговая характеристика, полученная на стерне нормальной влажности, считается паспортной для трактора как тяговой машины и используется для комплектования тяговых машинно-тракторных агрегатов (МТА) с пассивными рабочими органами сельскохозяйственных машин (СХМ). Для привода активных рабочих органов (АРО) сельскохозяйственных машин мощность от двигателя трактора передается через механический привод – вал отбора мощности (ВОМ), или гидростатический – гидросистему отбора мощности (ГСОМ). При этом для работы подавляющего большинства СХМ с актив-