

УДК 631.3:633.71

UDC 631.3:633.71

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 – Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИСТЬЕВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УКЛАДКИ ЛИСТЬЕВ ТАБАКА В КОНТЕЙНЕР

KINEMATIC ANALYSIS OF THE LEAVES DISTRIBUTION MECHANISM OF THE DEVICE FOR PLACING TOBACCO LEAVES INTO CONTAINER

¹Букаткин Рустем Николаевич
канд. техн. наук
РИНЦ SPIN-код: 4071-8412
e-mail: pcls@bk.ru

¹Bukatkin Rustem Nikolaevich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 4071-8412
e-mail: pcls@bk.ru

²Виневский Евгений Иванович
д-р. техн. наук, профессор
РИНЦ SPIN-код: 7273-9453
e-mail: vinevski@mail.ru

²Vinevskiy Evgeniy Ivanovich
Dr. ci.Tech., professor
RSCI SPIN-code: 7273-9453
e-mail: vinevski@mail.ru

¹Варламов Борис Сергеевич
канд. техн. наук
РИНЦ SPIN-код: 4150-1196
e-mail: bor-varlamov@mail.ru

¹Varlamov Boris Sergeevich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 4150-1196
e-mail: bor-varlamov@mail.ru

¹Швецов Алексей Алексеевич
инженер
РИНЦ SPIN-код: 5888-0621
e-mail: saav1968@gmail.com

¹Shvetsov Aleksey Alekseevich
engineer
RSCI SPIN-code: 5888-0621
e-mail: saav1968@gmail.com

¹Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков, г. Краснодар, Россия

¹Krasnodar Air Force Institute for military pilots, Krasnodar, Russia

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий, г. Краснодар, Россия

²FSBSI state all-Russian scientific research institute of tobacco, makhorka and tobacco products, Krasnodar, Russia

Аналитическим методом проведен кинематический анализ механизма распределения листьев устройства для укладки листьев табака в контейнер. Эти исследования позволят теоретически определить оптимальные геометрические параметры этого механизма

The article considers a kinematic analysis of the leaves distribution mechanism in the device for placing the tobacco leaves into container using analytic method. These researches allow defining optimal geometric parameters of this device theoretically

Ключевые слова: МЕХАНИЗМ, КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ЗАКОНОМЕРНОСТЬ, ЛИСТЬЯ ТАБАКА

Keywords: MECHANISM, KINEMATIC ANALYSIS, REGULARITY, TOBACCO LEAVES

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-158-013>

Во ВНИИ табака, махорки и табачных изделий разработана технологическая линия подготовки листьев табака к сушке. Для усовершенствования этой линии внедрено устройство для укладки листьев табака в контейнер (рисунок 1) и сконструирован его экспериментальный образец [1, 2].

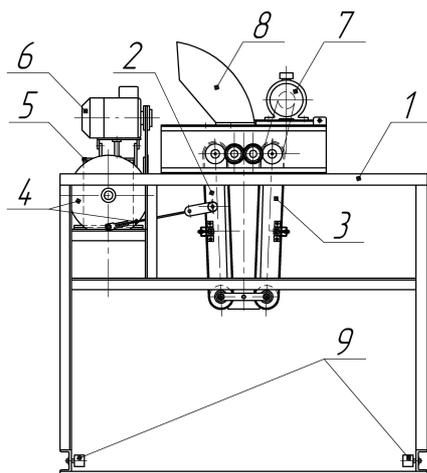


Рисунок 1 – Устройство для укладки листьев табака в контейнер (укладчик):

- 1 – рама; 2, 3 – транспортеры;
- 4 – кривошипно-шатунный привод;
- 5 – редуктор; 6, 7 – электродвигатели;
- 8 – загрузочная шахта (или прорезатель);
- 9 – рольганг для выкатывания контейнера

В процессе работы табачные листья подаются между транспортерами 2 и 3 укладчика, которые совершают колебательное движение посредством кривошипно-шатунного привода 4, в целом составляя механизм распределения листьев. Дальнейшее перемещение листьев и последующая равномерность распределения их в контейнере обеспечиваются синхронным движением лент транспортеров 2 и 3.

Первичные экспериментальные исследования выявили необходимость в изменении геометрической конфигурации механизма распределения листьев, что является трудоемким и затратным процессом. Для уточнения геометрии этого механизма необходим его теоретический анализ.

Поэтому целью наших исследований является кинематический анализ механизма распределения листьев укладчика, который позволит проводить теоретические изыскания по оптимизации геометрической конфигурации этого механизма.

Кинематический анализ включает в себя определение не только скоростей и ускорений точек и звеньев механизма, но и их перемещений.

Для достижения поставленной цели, кинематический анализ необходимо проводить аналитически. Такой метод является математически сложным, но он дает возможность по выведенным закономерностям определять значения необходимых параметров при любом изменении геометрии и положения механизма.

Механизм распределения листьев обладает одной степенью подвижности, а, следовательно, закон движения задается одному звену, – кривошипу 1 длиной l_1 (рисунок 2), – углом поворота φ , линейной v_A и угловой ω_1 скоростями [4].

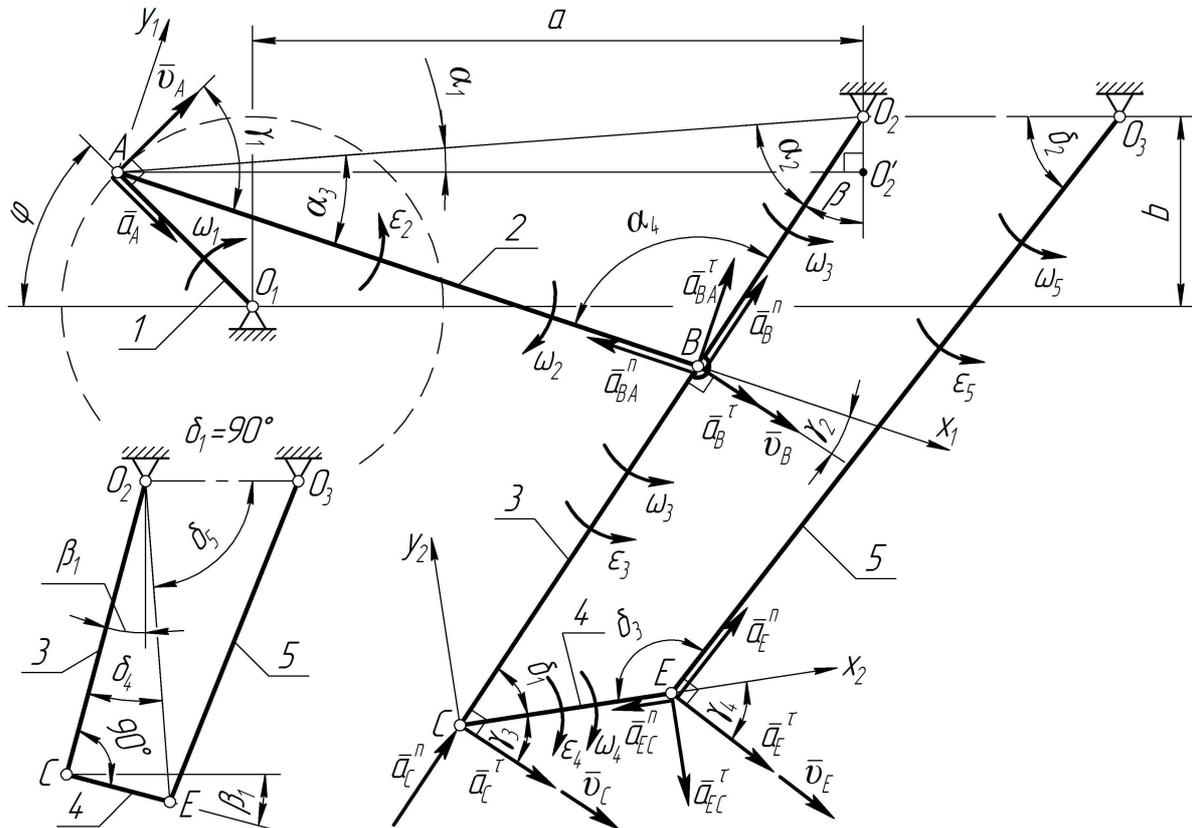


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма распределения листьев

Скорости механизма распределения листьев определяются по известным формулам и соотношениям [3]:

$$v_B = v_A \cdot \frac{\cos \gamma_1}{\cos \gamma_2}; \quad v_C = v_B \cdot \frac{l_3}{O_2B}; \quad v_E = v_C \cdot \frac{\cos \gamma_3}{\cos \gamma_4};$$

$$\omega_2 = \frac{v_B \cdot \sin \gamma_2}{l_2}; \quad \omega_3 = \frac{v_B}{O_2B}; \quad \omega_4 = \frac{v_E \cdot \sin \gamma_4}{l_4}; \quad \omega_5 = \frac{v_E}{l_5}.$$

Ускорения механизма распределения листьев определяются векторными уравнениями (таблица 1), составляемыми при рассмотрении звеньев 2, 3 и 4, 5 механизма [3, 4].

Таблица 1 – Ускорения механизма распределения листьев

Звенья	Векторные уравнения	Решение
2, 3	$\bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}_{BA};$ $\bar{a}_B^n + \bar{a}_B^\tau = \bar{a}_A + \bar{a}_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^\tau.$	$a_B = \sqrt{(a_B^n)^2 + (a_B^\tau)^2}; \quad a_B^n = \omega_3^2 \cdot O_2B; \quad a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot l_2;$ $a_B^\tau = \frac{a_A \cdot \cos(90^\circ - \gamma_1) - a_{BA}^n - a_B^n \cdot \sin \gamma_2}{\cos \gamma_2};$ $a_{BA}^\tau = a_B^n \cdot \cos \gamma_2 - a_B^\tau \cdot \sin \gamma_2 + a_A \cdot \sin(90^\circ - \gamma_1);$ $a_C = a_B \cdot \frac{l_3}{O_2B}; \quad a_C^n = a_B^n \cdot \frac{l_3}{O_2B}; \quad a_C^\tau = a_B^\tau \cdot \frac{l_3}{O_2B};$ $\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^\tau}{l_2}; \quad \varepsilon_3 = \frac{a_B^\tau}{O_2B}.$
4, 5	$\bar{a}_E = \bar{a}_C + \bar{a}_{EC};$ $\bar{a}_E^n + \bar{a}_E^\tau = \bar{a}_C + \bar{a}_C^\tau + \bar{a}_{EC}^n + \bar{a}_{EC}^\tau.$	$a_E = \sqrt{(a_E^n)^2 + (a_E^\tau)^2}; \quad a_E^n = \omega_5^2 \cdot l_5; \quad a_{EC}^n = \omega_4^2 \cdot l_4;$ $a_E^\tau = \frac{a_C^n \cdot \sin \gamma_3 + a_C^\tau \cdot \cos \gamma_3 - a_{EC}^n - a_E^n \cdot \sin \gamma_4}{\cos \gamma_4};$ $a_{EC}^\tau = a_C^n \cdot \cos \gamma_3 - a_C^\tau \cdot \sin \gamma_3 - a_E^n \cdot \cos \gamma_4 + a_E^\tau \cdot \sin \gamma_4;$ $\varepsilon_4 = \frac{a_{EC}^\tau}{l_4}; \quad \varepsilon_5 = \frac{a_E^\tau}{l_5}.$

Все скорости и ускорения зависят от значений углов $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$, которые изменяются во время движения механизма распределения листьев. Определим зависимость этих углов от изменения положения кривошипа l .

Для определения значений углов γ_1 и γ_2 рассмотрим взаимное положение звеньев 2 и 3 относительно ведущего звена (кривошипа l).

Из прямоугольного треугольника $O_2O_2'A$ получим:

$$O_2A^2 = (a + l_1 \cdot \cos \varphi)^2 + (b - l_1 \cdot \sin \varphi)^2; \quad \cos \alpha_1 = \frac{a + l_1 \cdot \cos \varphi}{O_2A}. \quad (1)$$

Если $(b - l_1 \cdot \sin \varphi) \geq 0$, то значение угла α_1 положительное, если $(b - l_1 \cdot \sin \varphi) < 0$, то значение угла α_1 отрицательное.

Из треугольника O_2AB по теореме косинусов определим $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$:

$$\begin{aligned} \cos \alpha_2 &= \frac{O_2A^2 + O_2B^2 - l_2^2}{2 \cdot O_2A \cdot O_2B}; & \cos \alpha_3 &= \frac{l_2^2 + O_2A^2 - O_2B^2}{2 \cdot l_2 \cdot O_2A}; \\ \cos \alpha_4 &= \frac{l_2^2 + O_2B^2 - O_2A^2}{2 \cdot l_2 \cdot O_2B}. \end{aligned} \quad (2)$$

Значение искомым углов γ_1 и γ_2 определится выражениями:

$$\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_1 + (90^\circ - \varphi); \quad \gamma_2 = 90^\circ - \alpha_4. \quad (3)$$

Для определения значений углов γ_3 и γ_4 рассмотрим взаимное положение звеньев 4 и 5 относительно звена 3.

Рассмотрим четырехугольник O_2O_3EC , как два треугольника O_2O_3C и O_3CE . Применяя теорему косинусов, получим:

$$\begin{cases} O_3C^2 = l_3^2 + O_2O_3^2 - 2 \cdot l_3 \cdot O_2O_3 \cdot \cos(\beta + 90^\circ); \\ O_3C^2 = l_4^2 + l_5^2 - 2 \cdot l_4 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_3, \end{cases}$$

где $\beta = 90^\circ - \alpha_2 - \alpha_1$;

$$\cos \delta_3 = \frac{-l_3^2 - O_2O_3^2 + 2 \cdot l_3 \cdot O_2O_3 \cdot \cos(\beta + 90^\circ) + l_4^2 + l_5^2}{2 \cdot l_4 \cdot l_5}. \quad (4)$$

Рассмотрим четырехугольник O_2O_3EC , как два треугольника O_2CE и O_2O_3E . Применяя теорему косинусов, получим:

$$\begin{cases} O_2E^2 = l_3^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot \cos \delta_1; \\ O_2E^2 = O_2O_3^2 + l_5^2 - 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_2; \end{cases}$$

$$l_3^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot \cos \delta_1 = O_2O_3^2 + l_5^2 - 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_2. \quad (5)$$

В четырехугольнике O_2O_3EC сумма углов составляет 360° :

$$360^\circ = \beta + 90^\circ + \delta_3 + \delta_1 + \delta_2 \Rightarrow \delta_2 = 270^\circ - \beta - \delta_3 - \delta_1,$$

или $\delta_2 = \delta_\Sigma - \delta_1$, где $\delta_\Sigma = 270^\circ - \beta - \delta_3$.

Тогда уравнение (5) примет вид:

$$l_3^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot \cos \delta_1 - O_2O_3^2 - l_5^2 + 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos(\delta_\Sigma - \delta_1) = 0. \quad (6)$$

В уравнении (6) $\cos(\delta_\Sigma - \delta_1) = \cos \delta_\Sigma \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_\Sigma \cdot \sin \delta_1$, тогда после математических преобразований получим:

$$\begin{aligned} \cos \delta_1 (2 \cdot O_2 O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_\Sigma - 2 \cdot l_3 \cdot l_4) + l_3^2 + l_4^2 - O_2 O_3^2 - l_5^2 = \\ = -2 \cdot O_2 O_3 \cdot l_5 \cdot \sin \delta_\Sigma \cdot \sin \delta_1. \end{aligned} \quad (7)$$

Для упрощения уравнения (7), введем обозначения:

$$a_1 = 2 \cdot O_2 O_3 \cdot l_5 \cdot \sin \delta_\Sigma; \quad a_2 = 2 \cdot O_2 O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_\Sigma - 2 \cdot l_3 \cdot l_4; \quad a_3 = l_3^2 + l_4^2 - O_2 O_3^2 - l_5^2.$$

Тогда уравнение (7) примет вид:

$$\cos \delta_1 \cdot a_2 + a_3 = -a_1 \cdot \sin \delta_1. \quad (8)$$

В уравнении (8) произведем замену $\sin \delta_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \delta_1}$, возведем обе части уравнения в квадрат и преобразуем его:

$$\cos^2 \delta_1 (a_1^2 + a_2^2) + \cos \delta_1 \cdot 2 \cdot a_2 \cdot a_3 + a_3^2 - a_1^2 = 0. \quad (9)$$

Решением полученного квадратного уравнения (9) будет равенство:

$$\cos \delta_1 = \frac{-2 \cdot a_2 \cdot a_3 \pm \sqrt{4 \cdot a_2^2 \cdot a_3^2 - 4(a_1^2 + a_2^2)(a_3^2 - a_1^2)}}{2(a_1^2 + a_2^2)}. \quad (10)$$

В уравнении (10) знак «+» перед корнем берется при $0^\circ < \delta_1 \leq 90^\circ$, а знак «-» при $90^\circ < \delta_1 < 180^\circ$. Для удовлетворения этих условий, рассмотрим положение когда $\delta_1 = 90^\circ$ (рисунок 2), при этом $\beta = \beta_1$. Рассмотрим прямоугольный треугольник O_2CE , из которого получим:

$$O_2E = \sqrt{l_3^2 + l_4^2}; \quad \text{tg } \delta_4 = \frac{l_4}{l_3}. \quad (11)$$

Из треугольника O_2O_3E по теореме косинусов получим:

$$\cos \delta_5 = \frac{O_2E^2 + O_2O_3^2 - l_5^2}{2 \cdot O_2E \cdot O_2O_3}. \quad (12)$$

$$\beta_1 + 90^\circ = \delta_4 + \delta_5 \Rightarrow \beta_1 = \delta_4 + \delta_5 - 90^\circ. \quad (13)$$

Таким образом, при $\beta \geq \beta_1$ в уравнении (10) берется знак «+», а при $\beta < \beta_1$ – знак «-».

Значение искомым углов γ_3 и γ_4 определится выражениями:

$$\gamma_3 = 90^\circ - \delta_1; \quad \gamma_4 = \delta_3 - 90^\circ. \quad (14)$$

Полученные формулы (3) и (14) определяют зависимость углов γ_1 , γ_2 , γ_3 , γ_4 от угла поворота φ кривошипа I .

Проведенное исследование позволяет определить необходимую геометрическую конфигурацию рассматриваемого механизма и унифицировать укладчик под различные типоразмеры контейнеров.

Рассмотренный кинематический анализ механизма распределения листьев так же позволяет провести его динамическое исследование, на основании которого определяются оптимальные конструктивные параметры укладчика.

Список литературы

1. Пат. 2608149 Российская Федерация, МПК А24В1/06. Линия загрузки листьев табака в контейнер / Винецкий Е. И., Ульяновченко Е. Е., Саломатин В. А., Поярков И. Б., Трубилин Е. И., Винецкая Н. Н., Пестова Л. П., Огняник А. В. ; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТИ. – № 2015149539 ; заявл. 18.11.15 ; опубл. 16.01.17, Бюл. № 2.

2 Ульяновченко, Е. Е., Букаткин, Р. Н. Теоретическое обоснование кинематических параметров устройства для укладки листьев табака в накопители [Электронный ресурс] / Е. Е. Ульяновченко, Р. Н. Букаткин // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. матер. III Всерос. научн.-практ. конф. молодых ученых и аспирантов (04–25 апреля 2016 г., г. Краснодар) – С. 188–195. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2016/sbornik_conf_2016.pdf.

3. Яблонский, А. А. Курс теоретической механики. Ч. I Статика. Кинематика. Ч. II Динамика / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – 16-е изд., стер. – М.: КноРус, 2011. – 603 с.

4. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин: учебник для вузов / И. И. Артоболевский. – 6-е изд., стер., перепеч. с изд. 1988 г. – М.: Альянс, 2011. – 640 с.

References

1. Pat. 2608149 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A24B1/06. Liniya zagruzki list'yev tabaka v konteyner / Vinevskiy E. I., Ul'yanchenko E. E., Salomatin V. A., Poyarkov I. B., Trubilin E. I., Vinevskaya N. N., Pestova L. P., Ognyanik A. V. ; zayavitel' i patento-obladatel' FGBNU VNIITI. – № 2015149539 ; zayavl. 18.11.15 ; opubl. 16.01.17, Byul. № 2.

2. Ul'yanchenko, E. E., Bukatkin, R. N. Teoreticheskoe obosnovanie kinematicheskikh parametrov ustroystva dlya ukladki list'yev tabaka v nakopiteli [Elektronnyy resurs] / E. E. Ul'yanchenko, R. N. Bukatkin // Nauchnoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy proizvodstva i khraneniya sel'skokhozyaystvennoy i pishchevoy produktsii: sb. mater. III Vse-ros. nauchn.-prakt. konf. molodykh uchenykh i aspirantov (04–25 aprelya 2016 g., g. Krasnodar) – S. 188–195. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2016/sbornik_conf_2016.pdf.

3. Yablonskiy, A. A. Kurs teoreticheskoy mekhaniki. Ch. I Statika. Kinematika. Ch. II Dinamika / A. A. Yablonskiy, V. M. Nikiforova. – 16-e izd., ster. – M.: KnoRus, 2011. – 603 s.

4. Artobolevskiy, I. I. Teoriya mekhanizmov i mashin: uchebnyk dlya vtuzov / I. I. Artobolevskiy. – 6-e izd., ster., perepech. s izd. 1988 g. – M.: Al'yans, 2011. – 640 s.