

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ УКЛАДКИ ЛИСТЬЕВ ТАБАКА В НАКОПИТЕЛИ

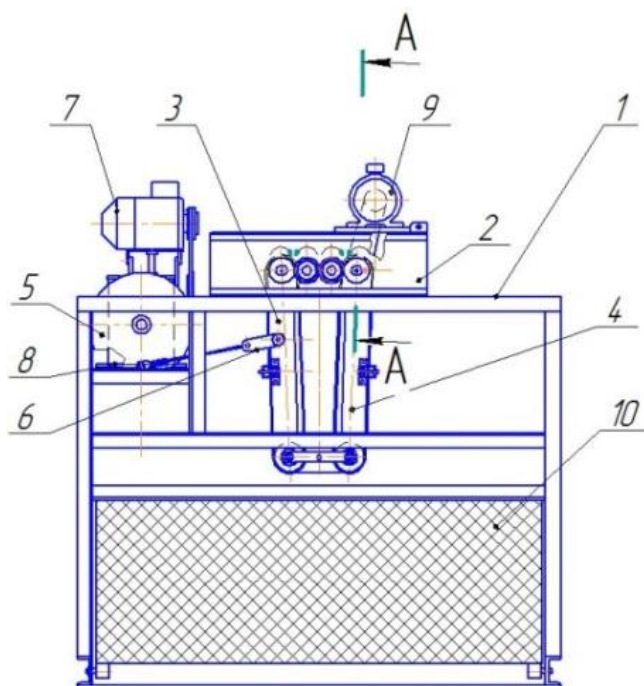
Ульянченко Е.Е.\*; Букаткин Р.Н., канд. техн. наук\*\*

\* ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», г. Краснодар

\*\* Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков (Краснодарское ВВАУЛ), г. Краснодар

**Аннотация.** Устройство предназначено для укладки листьев табака в контейнер для искусственной сушки. Определены кинематические параметры механизма укладчика, установлены абсолютные скорости в нижних точках транспортеров укладчика, соответствующие скоростям листьев на выходе из них. Достигнута равномерность распределения листьев в контейнере.

Целью исследований является усовершенствование технологической линии подготовки табака к сушке путем внедрения дополнительного устройства для укладки листьев в контейнер (рис. 1) и определение его кинематических параметров.



1 – рама, 2 – рама привода, 3, 4 – транспортеры, 5, 6 – кривошипно-шатунный механизм, 7 – электродвигатель, 8 – редуктор, 9 – электродвигатель, 10 – контейнер

Рис. 1. Устройство для укладки листьев в контейнер

Задачей исследований является определение кинематических параметров механизма привода транспортеров устройства для обеспечения равномерной раскладки листьев по ширине контейнера.

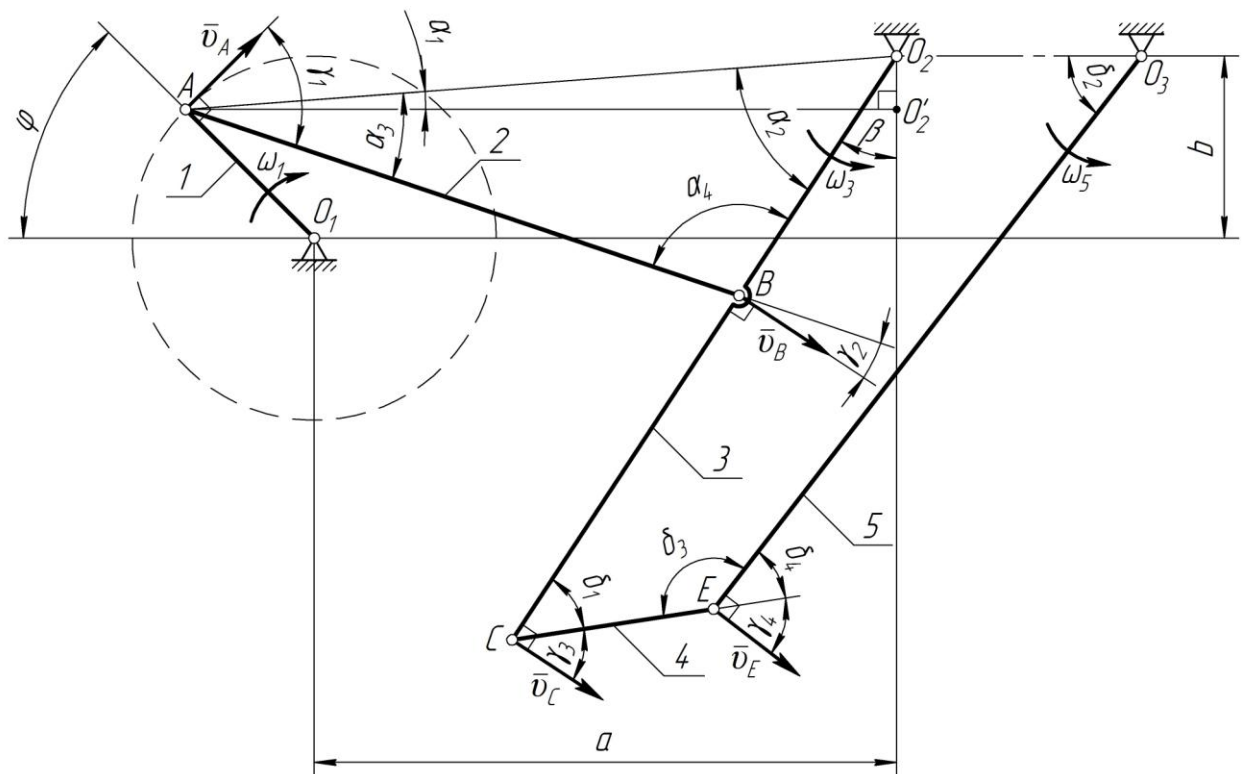


Рис. 2. Кинематическая схема механизма укладчика с кривошипно-шатунным приводом

Скорости звеньев механизма укладчика зависят от кинематических параметров кривошипно-шатунного привода.

Скорость  $v_A$  точки  $A$ , принадлежащей кривошипу (рис. 2), равна

$$v_A = \omega_1 \cdot R_{кр} = \frac{\pi n_1}{30} \cdot R_{кр} = 0,105 \cdot n_1 \cdot R_{кр}, \quad (1)$$

где  $\omega_1$  – угловая скорость кривошипа, рад/с;

$R_{кр}$  – радиус кривошипа, м;

$n_1$  – число оборотов в минуту кривошипа, об/мин.

Скорости точек  $B$  (крепления шатуна к транспортерам) и  $E$  определим применяя теорему о проекции скоростей точек плоской фигуры на ось (прямые  $AB$  и  $CE$ ), проходящую через эти точки (рис. 2):

$$v_A \cdot \cos \gamma_1 = v_B \cdot \cos \gamma_2 \Rightarrow v_B = v_A \cdot \frac{\cos \gamma_1}{\cos \gamma_2}; \quad (2)$$

$$v_C \cdot \cos \gamma_3 = v_E \cdot \cos \gamma_4 \Rightarrow v_E = v_C \cdot \frac{\cos \gamma_3}{\cos \gamma_4}. \quad (3)$$

Скорость  $v_C$  точки  $C$  определится из пропорции:

$$\frac{v_C}{v_B} = \frac{l_3}{O_2B} \Rightarrow v_C = v_B \cdot \frac{l_3}{O_2B}, \quad (4)$$

где  $l_3$  – длина звена 3, м.

Угловые скорости звеньев 3 и 5 определяются отношениями:

$$\omega_3 = \frac{v_B}{O_2B}; \quad \omega_5 = \frac{v_E}{l_5}, \quad (5)$$

где  $l_5$  – длина звена 5, м.

Определим зависимость скоростей механизма укладчика от угла поворота  $\varphi$  кривошипа  $O_1A$  на примере фактических размерно-технологических параметров опытного образца устройства для укладки листьев в контейнер.

Рассмотрим промежуточное положение механизма (рис. 2).

Из прямоугольного треугольника  $O_2O_2'A$  получим:

$$O_2A^2 = (a + R_{кр} \cdot \cos \varphi)^2 + (b - R_{кр} \cdot \sin \varphi)^2;$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{a + R_{кр} \cos \varphi}{O_2A}. \quad (6)$$

Из треугольника  $O_2AB$ , применяя теорему косинусов, определим углы  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$ :

$$\cos \alpha_2 = \frac{O_2A^2 + O_2B^2 - l_2^2}{2 \cdot O_2A \cdot O_2B}; \quad (7)$$

$$\cos \alpha_3 = \frac{l_2^2 + O_2A^2 - O_2B^2}{2 \cdot l_2 \cdot O_2A}; \quad (8)$$

$$\cos \alpha_4 = \frac{l_2^2 + O_2B^2 - O_2A^2}{2 \cdot l_2 \cdot O_2B}. \quad (9)$$

Тогда

$$180^\circ = \beta + \alpha_2 + (90^\circ + \alpha_1) \Rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha_2 - \alpha_1. \quad (10)$$

Если  $(b - R_{кр} \cdot \sin \varphi) > 0$ , то значение угла  $\alpha_1$  положительное, если  $(b - R_{кр} \cdot \sin \varphi) < 0$ , то значение угла  $\alpha_1$  отрицательное.

Углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  между векторами скоростей  $\bar{v}_A$  и  $\bar{v}_B$  и звеном 2 составят:

$$\gamma_1 = \alpha_3 - \alpha_1 + (90^\circ - \varphi); \quad (11)$$

$$\gamma_2 = 90^\circ - \alpha_4. \quad (12)$$

Для определения угла  $\delta_3$ , четырехугольник  $O_2O_3EC$  рассмотрим, как два треугольника  $O_2O_3C$  и  $O_3CE$ . Применяя теорему косинусов, получим:

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

$$\cos \delta_3 = \frac{-l_3^2 - O_2O_3^2 + 2 \cdot l_3 \cdot O_2O_3 \cdot \cos(\beta + 90^\circ) + l_4^2 + l_5^2}{2 \cdot l_4 \cdot l_5}. \quad (13)$$

$$180^\circ = \delta_3 + \delta_4 \Rightarrow \delta_4 = 180^\circ - \delta_3. \quad (14)$$

В четырехугольнике  $O_2O_3EC$  сумма углов составляет  $360^\circ$ :

$$360^\circ = \beta + 90^\circ + \delta_3 + \delta_1 + \delta_2;$$

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

Для определения угла  $\delta_1$ , четырехугольник  $O_2O_3EC$  рассмотрим, как два треугольника  $O_2CE$  и  $O_2O_3E$ . Применяя теорему косинусов, получим:

$$\begin{cases} O_2E^2 = l_3^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot \cos \delta_1; \\ O_2E^2 = O_2O_3^2 + l_5^2 - 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_2; \\ l_3^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot \cos \delta_1 = O_2O_3^2 + l_5^2 - 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_2; \\ l_3^2 + l_4^2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot \cos \delta_1 - O_2O_3^2 - l_5^2 + 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos(\delta_2 - \delta_1) = 0. \end{cases} \quad (15)$$

Заменив  $\cos(\delta_2 - \delta_1) = \cos \delta_2 \cdot \cos \delta_1 + \sin \delta_2 \cdot \sin \delta_1$ , после математических преобразований получим:

$$\begin{aligned} & \cos \delta_1 (2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4) + l_3^2 + l_4^2 - O_2O_3^2 - l_5^2 = \\ & = -2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \sin \delta_2 \cdot \sin \delta_1. \end{aligned} \quad (16)$$

Для упрощения выражения (16), введем обозначения:

$$\begin{aligned} a_1 &= 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \sin \delta_2; \\ a_2 &= 2 \cdot O_2O_3 \cdot l_5 \cdot \cos \delta_2 - 2 \cdot l_3 \cdot l_4; \\ a_3 &= l_3^2 + l_4^2 - O_2O_3^2 - l_5^2. \end{aligned}$$

Тогда выражение (16) примет вид:

$$\cos \delta_1 \cdot a_2 + a_3 = -a_1 \cdot \sin \delta_1. \quad (17)$$

В выражении (17) заменим  $\sin \delta_1 = \sqrt{1 - \cos^2 \delta_1}$  и возведем обе части уравнения в квадрат, тогда получим:

$$\cos^2 \delta_1 (a_1^2 + a_2^2) + \cos \delta_1 \cdot 2 \cdot a_2 \cdot a_3 + a_3^2 - a_1^2 = 0. \quad (18)$$

Решением полученного квадратного уравнения (18) будет равенство:

$$\cos \delta_1 = \frac{-2 \cdot a_2 \cdot a_3 \pm \sqrt{4 \cdot a_2^2 \cdot a_3^2 - 4(a_1^2 + a_2^2)(a_3^2 - a_1^2)}}{2(a_1^2 + a_2^2)}. \quad (19)$$

В уравнении (19) знак «+» перед корнем берется при  $0^\circ < \delta_1 < 90^\circ$ , а знак «-» при  $90^\circ < \delta_1 < 180^\circ$ . Для удовлетворения этих условий, рассмотрим положение когда  $\delta_1 = 90^\circ$  (рис. 3). При этом  $\beta = \delta_5 = \beta_\delta$ . В четырехугольнике  $O_2O_3EC$  выделим прямоугольный треугольник  $O_2CE$ , из которого получим:

$$\begin{aligned} O_2E &= \sqrt{l_3^2 + l_4^2}; \\ \text{tg } \delta_6 &= \frac{l_4}{l_3}. \end{aligned} \quad (20)$$

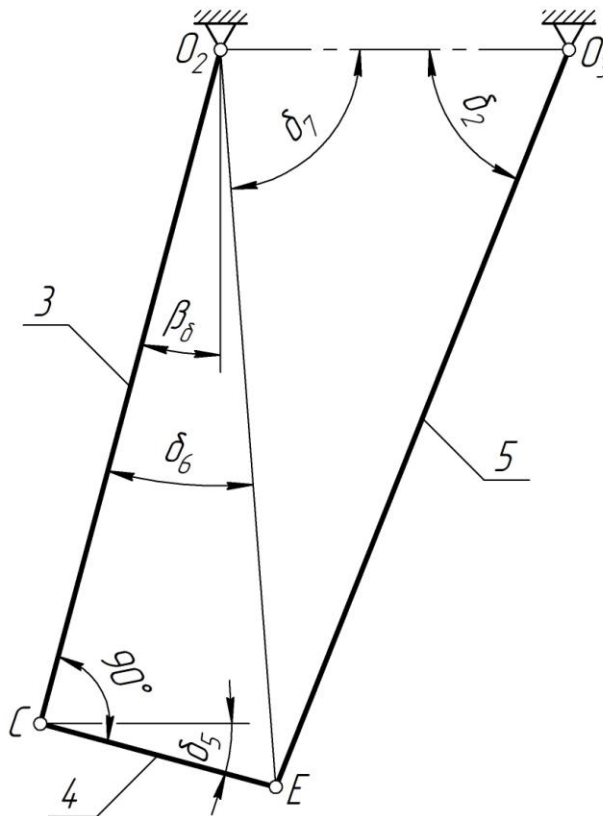


Рис. 3. Положение укладчика при  $\delta_1 = 90^\circ$

Из треугольника  $O_2O_3E$  по теореме косинусов получим:

$$\cos \delta_7 = \frac{O_2E^2 + O_2O_3^2 - l_5^2}{2 \cdot O_2E \cdot O_2O_3}. \quad (21)$$

$$\beta_\delta + 90^\circ = \delta_6 + \delta_7 \Rightarrow \beta_\delta = \delta_6 + \delta_7 - 90^\circ. \quad (22)$$

При  $\beta > \beta_\delta$  в уравнении (19) берется знак «+», а при  $\beta < \beta_\delta$  – знак «-». Углы  $\gamma_3$  и  $\gamma_4$  между векторами скоростей  $\vec{v}_C$  и  $\vec{v}_E$  и звеном 4 составят:

$$\gamma_3 = 90^\circ - \delta_1; \quad (23)$$

$$\gamma_4 = 90^\circ - \delta_4 \quad \text{или} \quad \gamma_4 = \delta_3 - 90^\circ. \quad (24)$$

По формулам (2) – (4), с учетом найденных углов  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  (см. выражения (11), (12), (23), (24) построим графики скоростей точек  $C$  и  $E$ , находящихся на выходе из устья транспортеров укладчика (рис.4).

Из графика следует, что скорости в крайних положениях будут равны 0. В этих положениях укладчика, подающиеся табачные листья теряют скорость своего движения за счет увеличения времени контакта с направляющими  $O_2C$  и  $O_3E$ , которые тормозят листья из-за трения. Наблюдается неравномерность заполнения краев контейнера.

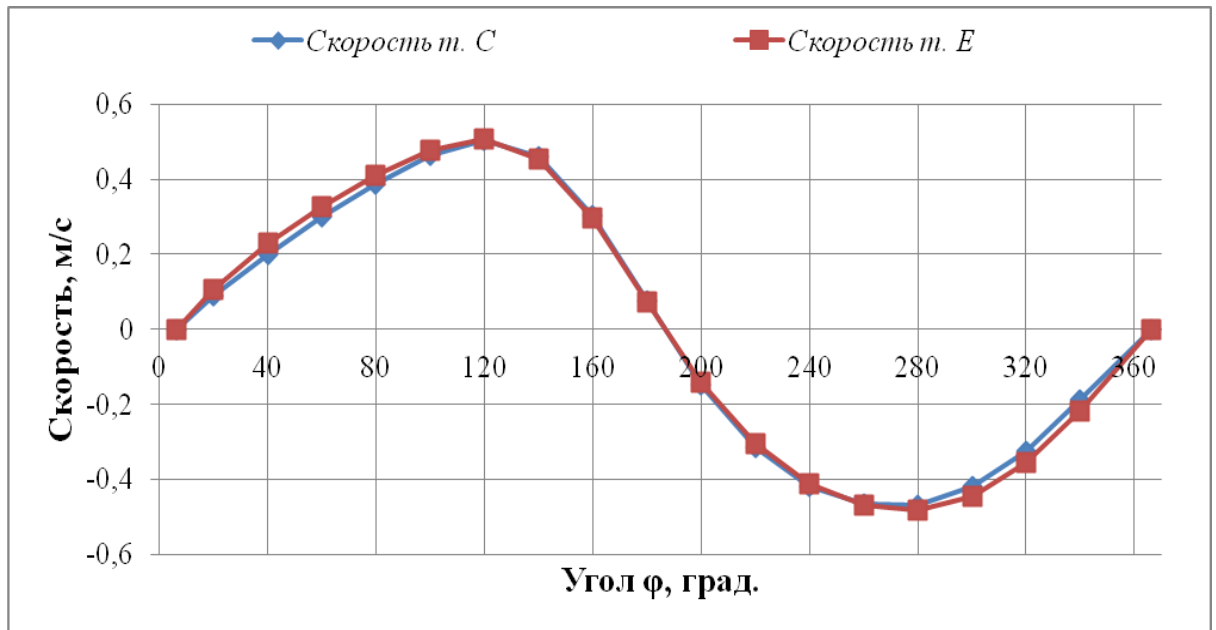


Рис. 4. График зависимости скоростей  $v_C$  и  $v_E$  от угла поворота кривошипа  $\varphi$ .

Чтобы обеспечить равномерность распределения листьев в контейнере, необходимо придать листьям дополнительную скорость. Для этого на направляющие укладчика  $O_2C$  и  $O_3E$  устанавливаются транспортерные ленты, которые приводятся в синхронное вращение с определенной скоростью. При проведении исследований на опытном образце укладчика регулировка скорости ленты транспортера укладчика  $v_{mp}$  проводилась в двух режимах: 2,8 м/с и 5,6 м/с. При скорости  $v_{mp}=5,6$  м/с наблюдалось значительное повреждение листьев. Оптимальной скоростью было выбрано значение 2,8 м/с. Абсолютную скорость точек  $v_{aC}$  и  $v_{aE}$  определили по формулам (25).

$$\begin{aligned} v_{aC} &= \sqrt{v_C^2 + v_{mp}^2}, \\ v_{aE} &= \sqrt{v_E^2 + v_{mp}^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

Графическая интерпретация абсолютных скоростей точек  $C$  и  $E$  представлена на (рис. 5).

Из графика следует, что за счет подключения транспортерных лент наблюдается выравнивание скоростей вне зависимости от угла поворота кривошипа. Тем самым обеспечивается равномерность укладки листьев по всей ширине контейнера.

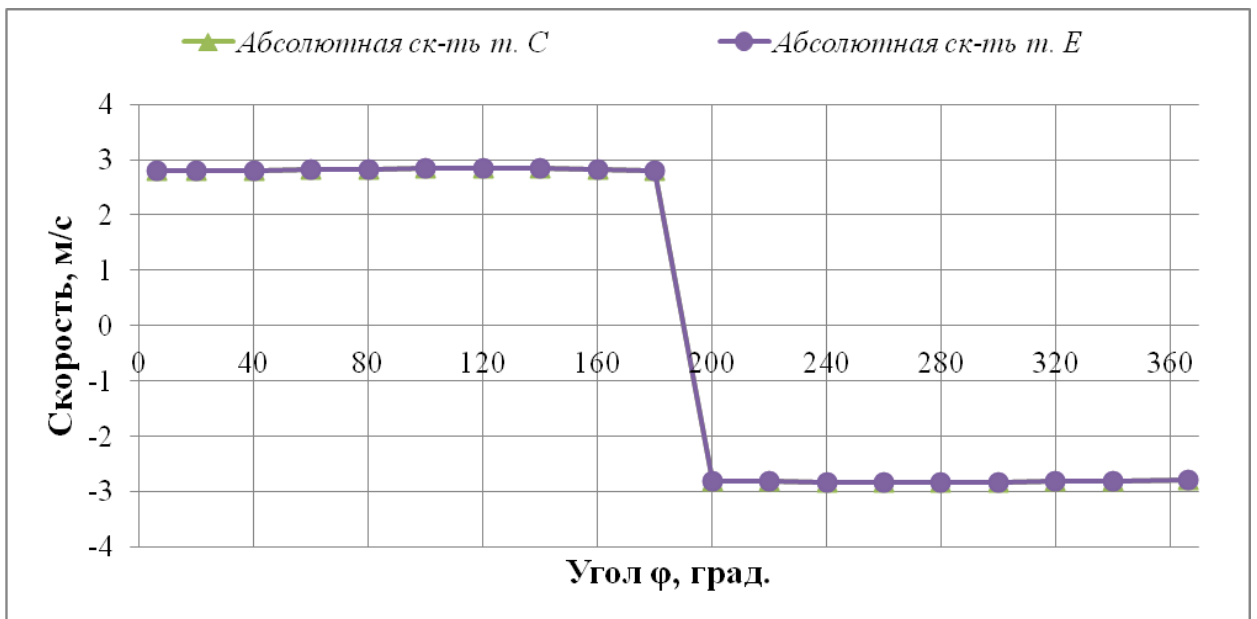


Рис. 5. График зависимости абсолютных скоростей  $v_{aC}$  и  $v_{aE}$  от угла поворота кривошипа  $\varphi$ .

### Литература

1. Виневский, Е.И. Трибологические исследования взаимодействия листьев табака с рабочими органами машин [Электронный ресурс] / Е.И. Виневский, Е.И. Трубилин, Н.Н. Виневская, А.В. Огняник, Р.Н. Букаткин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 100 (06). – С. 502–520. – URL: <http://ej.kubagro.ru/2014/06/pdf/77.pdf>
2. Патент на полезную модель № 71513. Технологическая линия подготовки табака к сушке/ Е.И. Виневский, Н.Н. Виневская, А.В. Огняник, И.Б. Поярков [и др. ].- Оpubл. 20.03.2008, Бюл. № 8.
3. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – 20-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2010. – 416 с.