

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ НАСІННЄВОЇ СУМІШІ ДРІБНОНАСІННЄВИХ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ІЗ РОБОЧИМ ОРГАНОМ ТРІЄРА

Е. Б. Алієв¹, К. О. Лупко², Д. О. Долгіх²

¹Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Одним із способів розділення компонентів насіннєвої суміші дрібнонасіннєвих олійних культур є їх сепарація за довжиною, яку здійснюють на чарункових трієрах. Аналіз попередніх наукових досліджень показав, що форма й розміри чарунків циліндричних трієрів є достатньо обґрунтованими та оптимізованими. Згідно з дослідженнями використання полімерних композиційних матеріалів відкрито можливість виготовлення нових форм чарунків для сортування різних культур. Однак у цих роботах недостатньо уваги приділено дослідженням режимних параметрів роботи циліндричних трієрів, що можуть змінюватися під час процесу сепарації залежно від складу вхідної насіннєвої суміші, тому теоретичним етапом досліджень є визначення діапазонів режимних параметрів селекційно-насінницького циліндричного трієра для сепарації насіннєвого матеріалу дрібнонасіннєвих олійних культур. В результаті дослідження процесу взаємодії компонента насіннєвої суміші з робочим органом циліндричного чарункового трієра отримано залежність куту відхилення центра мас компонента насіннєвої суміші від кута повороту циліндра $\beta(\theta)$. Отримана залежність дає змогу визначити мінімальний кут обертання циліндра трієра, за якого починає обертатися компонент насіннєвої суміші відносно центра мас: $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв, } D = 0,2 \text{ м}) = 0,12 \text{ рад.} = 6,9^\circ$; $\theta_{\min}(n = 45 \text{ об./хв, } D = 0,2 \text{ м}) = 0,33 \text{ рад.} = 18,9^\circ$; $\theta_{\min}(n = 60 \text{ об./хв, } D = 0,2 \text{ м}) = 0,52 \text{ рад.} = 29,8^\circ$; $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв, } D = 0,4 \text{ м}) = 0,18 \text{ рад.} = 10,3^\circ$; $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв, } D = 0,6 \text{ м}) = 0,29 \text{ рад.} = 16,6^\circ$.

Ключові слова: насіння, трієр, робочий орган, параметри, модель, взаємодія, ефективність.

Вступ. Одним із способів розділення компонентів насіннєвої суміші дрібнонасіннєвих олійних культур є їх сепарація за довжиною, яку здійснюють на чарункових трієрах (Aliiev et al. 2017). В попередніх дослідженнях (Aliiev et al. 2021a, Aliiev et al. 2021b) вже зазначалися основні особливості цього процесу й проводився аналіз наявних відповідних технічних засобів (Grochowicz 1980, Fouad 1980, Choon-Ki et al. 2009, Sorica et al. 2012).

Аналіз наукових досліджень (Vasilyeva 2000, Semenov 2012, Buzhgeev 2006, Sidorov 1997) показав, що форма й розміри чарунків циліндричних трієрів є достатньо обґрунтованими та оптимізованими. Згідно з дослідженнями (Odintsov 2007), використання полімерних композиційних матеріалів відкрило можливість виготовлення нових форм чарунків для сортування різних культур. Однак у цих роботах недостатньо уваги приділено дослідженню режимних параметрів роботи

циліндричних трієрів, що можуть змінюватися під час процесу сепарації залежно від складу вхідної насінневої суміші.

Отже, теоретичним етапом досліджень є визначення діапазонів режимних параметрів селекційно-насінницького циліндричного трієра для сепарації насінневого матеріалу дрібнонасінневих олійних культур.

Матеріали та методи досліджень. Розглянемо аналітично процес взаємодії компонента насінневої суміші з чарункою. Геометричні розміри чарунок, згідно з дослідженнями (Odintsov 2007), приймаємо відповідно до рис. 1.

Беремо такі припущення та спрощення:

- компонент насінневої суміші є абсолютно непружним тілом;
- тертям компонентів насінневої суміші один про одного нехтуємо;
- величиною опору повітряного середовища нехтуємо;
- компонент насінневої суміші має форму еліпсоїда обертання (Aliiev 2019, Shevchenko et al. 2018, Aliiev et al. 2019);
- задачу розглядаємо у площині, що перпендикулярна осі циліндра трієра.

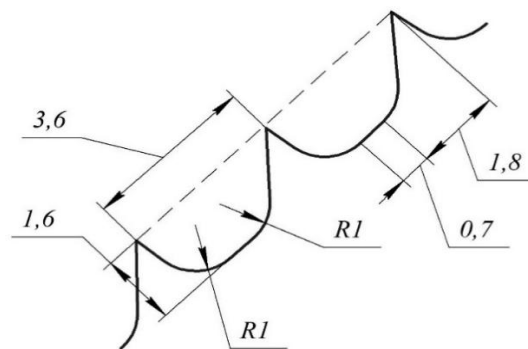


Рис. 1. Геометричні розміри чарунок селекційно-насінницького циліндричного трієра (мм)

Складемо розрахункову схему (рис. 2) процесу переміщення компонента насінневої суміші в чарунці селекційно-насінницького циліндричного трієра.

На компонент насінневої суміші діють такі сили.

- 1) Сила тяжіння:

$$\overline{F}_g = m\overline{g}, \text{ Н}, \quad (1)$$

де m – маса компонента насінневої суміші, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

- 2) Відцентрова сила інерції:

$$\overline{F}_c = m\omega^2 R n_r, \text{ Н}, \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість обертання циліндра трієра, с^{-1} :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}; \quad (3)$$

n – частота обертання циліндра трієра, об./хв.; R – відстань від центра мас C компонента насінневої суміші до осі обертання циліндра O (в першому наближенні відповідає радіусу циліндра трієра), м:

$$R = \frac{D}{2}; \quad (4)$$

D – діаметр циліндра, м; \overline{n}_R – одиничний вектор, що визначає положення компонента насінневої суміші в полярній системі координат відносно O .

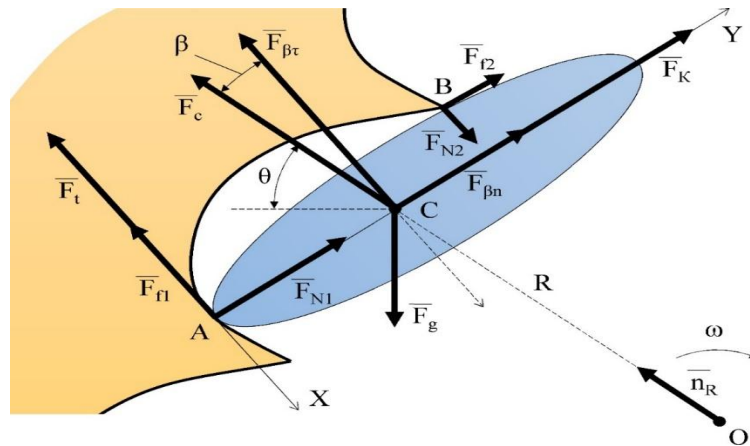


Рис. 2. Розрахункова схема процесу переміщення компонента насінневої суміші в чарунці селекційно-насінницького циліндричного трісра

- 3) Тенденційна сила інерції:

$$\overline{F}_{\beta t} = m\dot{\beta}l_C\overline{\tau}_\beta, \text{ Н}, \quad (5)$$

де β – кут відхилення центра мас C компонента насінневої суміші відносно одиничного вектору \overline{n}_R ; l_C – відстань від центра мас C компонента насінневої суміші до місця контакту з чарункою A , м; $\overline{\tau}_\beta$ – одиничний вектор, що визначає орієнтацію компонента насінневої суміші в полярній системі координат відносно C .

- 4) Нормальна сила інерції:

$$\overline{F}_{\beta n} = m\dot{\beta}^2l_C\overline{n}_\beta, \text{ Н}, \quad (6)$$

де \overline{n}_β – одиничний вектор, який ортогональний вектору $\overline{\tau}_\beta$.

- 5) Коріолісова сила інерції:

$$\overline{F}_k = 2m\omega\dot{\beta}l_C\overline{k} \times \overline{\tau}_\beta, \text{ Н}, \quad (7)$$

де \overline{k} – одиничний вектор, що направлений вздовж осі обертання.

- 6) Нормальна реакція опори чарунки \overline{F}_N .

- 7) Сила тертя компонента насінневої суміші о поверхню чарунки:

$$|\overline{F}_f| = f|\overline{F}_N|, \text{ Н}, \quad (8)$$

де f – коефіцієнт тертя насінневої суміші о поверхню чарунки.

- 8) Сила тертя кочення компонента насінневої суміші:

$$\left| \overline{F}_t \right| = \frac{f_t}{l_c} \left| \overline{F}_N \right|, \text{ Н}, \quad (9)$$

де f_t – коефіцієнт тертя кочення компонента насінневої суміші о поверхню чарунки, м.

У граничний момент відносної рівноваги компонента насінневої суміші сума сил, що діють на центр мас С, дорівнюватиме нулю:

$$\begin{cases} AX: F_g \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta - \theta\right) - F_t - F_{f1} - F_{\beta r} - F_c \cos \beta + F_{N2} = 0, \\ AY: F_{N1} + F_{f2} + F_{\beta n} + F_K - F_g \sin\left(\frac{\pi}{2} - \beta - \theta\right) - F_c \sin \beta = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Сума моментів сил при цьому складає:

$$F_g l_c \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta - \theta\right) - F_c l_c \cos \beta - F_{\beta r} l_c + F_{N2} l_B = I_A \ddot{\beta}, \quad (11)$$

де l_B – відстань від точки В чарунки до місця контакту компонента насінневої суміші з чарункою А, м; I_A – момент інерції компонента насінневої суміші (еліпсоїда) відносно точки А, м:

$$I_A = I_C + ml_c^2 = \frac{1}{5} m l^2 + b^2 + ml_c^2 = \frac{m}{5} l^2 + b^2 + 5l_c^2 ; \quad (12)$$

l – довжина компонента насінневої суміші, м; b – ширина компонента насінневої суміші, м.

Зведемо рівняння (10) і (11) до єдиної системи та підставимо вирази з (1)–(9):

$$\begin{cases} mg \sin(\beta + \theta) - \frac{f_t}{l_c} F_{N1} - f F_{N1} - m \ddot{\beta} l_c - m \omega^2 R \cos \beta + F_{N2} = 0, \\ F_{N1} + f F_{N2} + m \dot{\beta}^2 l_c + 2m \omega \dot{\beta} l_c - mg \cos(\beta + \theta) - m \omega^2 R \sin \beta = 0, \\ mgl_c \sin(\beta + \theta) - m \omega^2 R l_c \cos \beta - m \ddot{\beta} l_c + F_{N2} l_B = \frac{m}{5} l^2 + b^2 + 5l_c^2 \ddot{\beta}. \end{cases} \quad (13)$$

Виражаючи F_{N1} і F_{N2} з третього і другого рівняння та підставляючи у перше рівняння системи (13), маємо диференційне рівняння другого порядку відносно $\beta(t)$:

$$\begin{aligned} & \left[\frac{fl_c f_t + fl_c}{l_B} + \frac{l_c^2}{l_B} + \frac{l^2 + b^2 + 5l_c^2}{5l_B} + \frac{f f_t + fl_c}{5l_B l_c} \frac{l^2 + b^2 + 5l_c^2}{5l_B l_c} - l_c \right] \ddot{\beta} + \\ & + f_t + fl_c \dot{\beta}^2 + \frac{\pi n}{15} f_t + fl_c \dot{\beta} + g \sin(\beta + \theta) - \frac{f_t + fl_c}{l_c} g \cos(\beta + \theta) - \\ & - \frac{f_t + fl_c}{l_c} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \frac{D}{2} \sin \beta - \frac{f f_t + fl_c}{l_B} g \sin(\beta + \theta) + \frac{f f_t + fl_c}{l_B} \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \frac{D}{2} \cos \beta - \\ & - \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \frac{D}{2} \cos \beta - g \frac{l_c}{l_B} \sin(\beta + \theta) + \left(\frac{\pi n}{30} \right)^2 \frac{D}{2} \frac{l_c}{l_B} \cos \beta = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Кут θ залежить від частоти обертання циліндра трієра та часу

$$\theta = \omega t = \frac{2\pi n}{60} t = \frac{\pi n}{30} t :$$

$$\left[\frac{fl_c}{l_b} \frac{f_t + fl_c}{l_b} + \frac{l_c^2}{l_b} + \frac{l^2 + b^2 + 5l_c^2}{5l_b} + \frac{f}{5l_b l_c} \frac{f_t + fl_c}{l_c} \frac{l^2 + b^2 + 5l_c^2}{l_c} - l_c \right] \ddot{\beta} +$$

$$+ f_t + fl_c \dot{\beta}^2 + \frac{\pi n}{15} f_t + fl_c \dot{\beta} + g \sin\left(\beta + \frac{\pi n}{30} t\right) - \frac{f_t + fl_c}{l_c} g \cos\left(\beta + \frac{\pi n}{30} t\right) -$$

$$- \frac{f}{l_b} \frac{f_t + fl_c}{l_c} + l_c g \sin\left(\beta + \frac{\pi n}{30} t\right) + \frac{f}{l_b} \frac{f_t + fl_c}{l_c} - l_b \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{D}{2} \cos \beta -$$

$$- \frac{f_t + fl_c}{l_c} \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{D}{2} \sin \beta + \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{D}{2} \frac{l_c}{l_b} \cos \beta = 0.$$

Початок руху приймаємо при куті $\theta_0 = -\pi/2$. Початковими умовами є такі:

$$\begin{cases} \beta_0 = 0, \\ \dot{\beta}_0 = \frac{\pi n}{30}. \end{cases} \quad (16)$$

Результати досліджень та їх обговорення. Вирішуючи рівняння (15) спільно з початковими умовами (16) і приймаючи фізико-механічні властивості компонента насінневої суміші ($l_c = 0,005$ м, $f = 0,6$, $f_t = 0,0005$ м, $l_b = 0,008$ м, $l = 0,01$ м, $b = 0,002$ м), у програмному пакеті Mathematica отримуємо залежності кутів $\beta(t)$ і $\theta(t)$, які наведені на рис. 3–4 для різних значень частоти обертання циліндра n і його діаметра D .

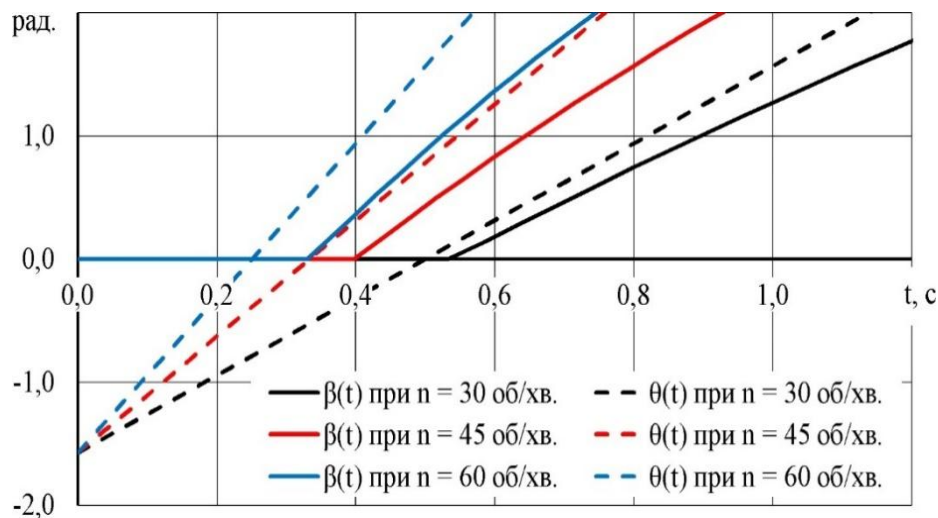


Рис. 3. Залежність кута $\beta(t)$ і $\theta(t)$ за $D = 0,4$ м

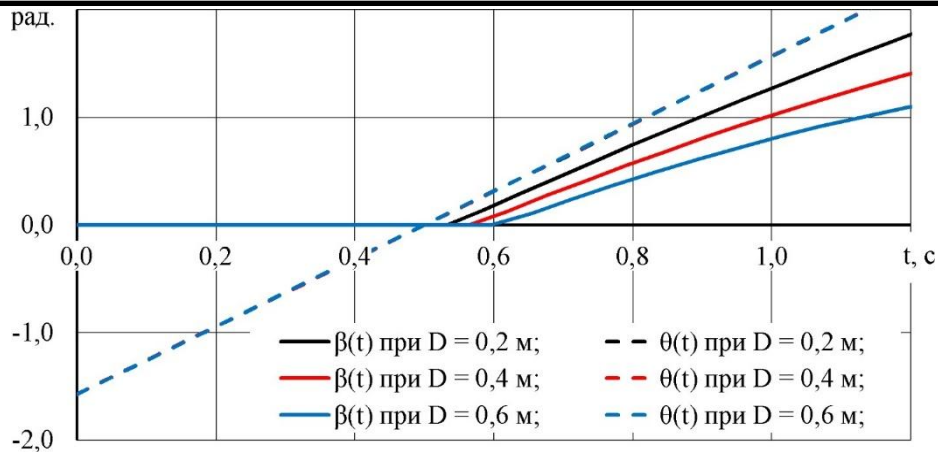


Рис. 4. Залежність кута $\beta(t)$ і $\theta(t)$ за $n = 30$ об./хв

Перерахувавши залежність $\beta(t)$ через кут обертання циліндра трієра з використанням виразу $t = \frac{30 \cdot \theta}{\pi n}$, отримуємо відповідні залежності $\beta(\theta)$, які наведені на рис. 2.5–2.6 для різних значень частоти обертання циліндра n і його діаметра D .

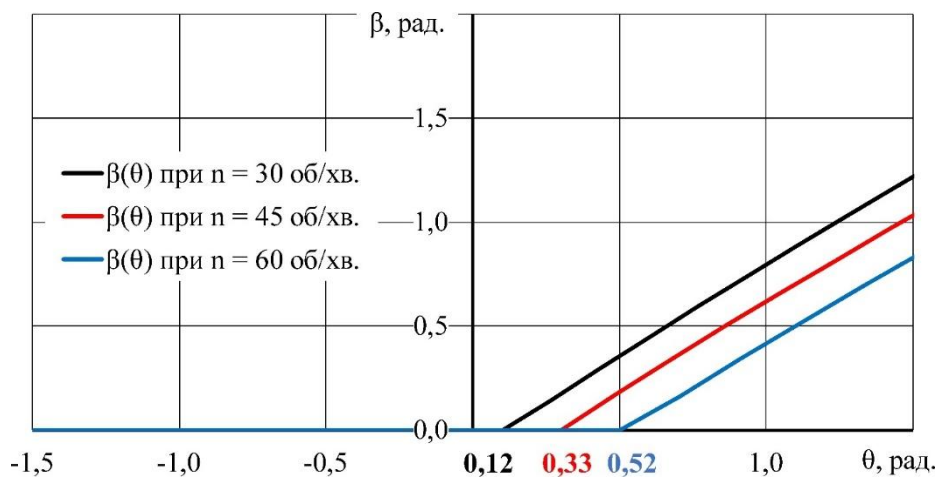


Рис. 5. Залежність кута $\beta(\theta)$ за $D = 0,2$ м

Аналіз рис. 5–6 дає змогу визначити мінімальний кут обертання циліндра трієра, за якого починає обертатися компонент насінневої суміші відносно центра мас:

- $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв}, D = 0,2 \text{ м}) = 0,12 \text{ рад.} = 6,9^\circ;$
- $\theta_{\min}(n = 45 \text{ об./хв}, D = 0,2 \text{ м}) = 0,33 \text{ рад.} = 18,9^\circ;$
- $\theta_{\min}(n = 60 \text{ об./хв}, D = 0,2 \text{ м}) = 0,52 \text{ рад.} = 29,8^\circ;$
- $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв}, D = 0,4 \text{ м}) = 0,18 \text{ рад.} = 10,3^\circ;$
- $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв}, D = 0,6 \text{ м}) = 0,29 \text{ рад.} = 16,6^\circ.$

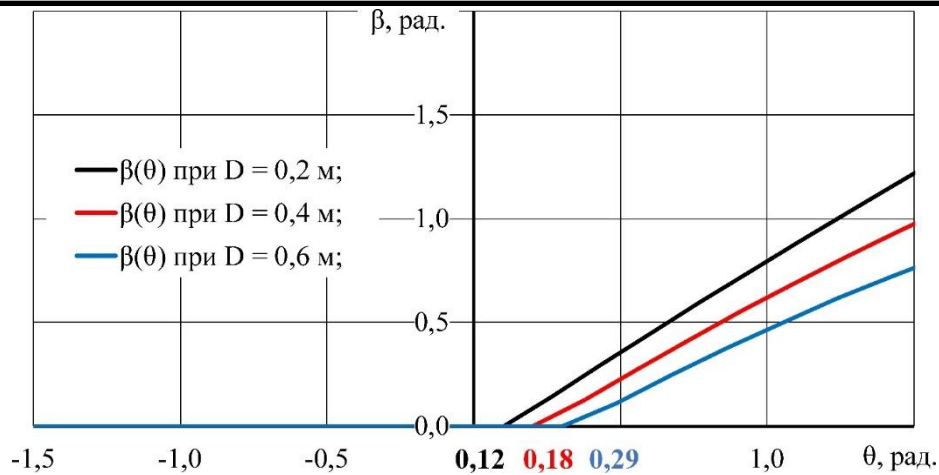


Рис. 6. Залежність кута $\beta(\theta)$ за $n = 30$ об./хв

Через те, що розглянуто рух однієї частинки компонента насінневої суміші, не враховано їх взаємодію, тому отримані дані потребують перевірки, яку будемо проводити шляхом чисельного моделювання методом дискретних елементів.

Висновки

В результаті дослідження процесу взаємодії компонента насінневої суміші з робочим органом циліндричного чарункового трієра отримано залежність кута відхилення центра мас компонента насінневої суміші від кута повороту циліндра $\beta(\theta)$. Отримана залежність дає змогу визначити мінімальний кут обертання циліндра трієра, за якого починає обертатися компонент насінневої суміші відносно центра мас: $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв}, D = 0,2 \text{ м}) = 0,12 \text{ рад.} = 6,9^\circ$; $\theta_{\min}(n = 45 \text{ об./хв}, D = 0,2 \text{ м}) = 0,33 \text{ рад.} = 18,9^\circ$; $\theta_{\min}(n = 60 \text{ об./хв}, D = 0,2 \text{ м}) = 0,52 \text{ рад.} = 29,8^\circ$; $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв}, D = 0,4 \text{ м}) = 0,18 \text{ рад.} = 10,3^\circ$; $\theta_{\min}(n = 30 \text{ об./хв}, D = 0,6 \text{ м}) = 0,29 \text{ рад.} = 16,6^\circ$.

References

- Aliiev EB (2019) Physico-mathematical models of the processes of precision separation of the raw material in the dormouse: monograph. Zaporozhye: STATUS:196
- Aliiev E, Gavrilchenko A, Tesliuk H, Tolstenko A, Koshulko V (2019) Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica. APTEFF. 50:12–22
- Aliiev E, Lupko K (2021a). Prerequisites for the Creation of a Mechatronic System of Indented Cylinders for the Separation of Fine Seeds. Scientific Horizons, 24(3):75–86. DOI:10.48077/scihor.24(3).2021.75–86
- Aliiev E, Lupko K, Belka E, Aliieva O (2021b) Trier separator of seed material of small seed oil crops. Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS. 31:118–132. DOI:10.36710/ioc-2021-31-11
- Aliiev EB, Shevchenko IA (2017) Research of aerodynamic properties of oilseeds. Bulletin of Agrarian Science 3 (769):63–65

Buzhgeev AS (2006) Improving the technological process and increasing the productivity of grain cleaning in a disk trier-oat-separator. Dissertation ... candidate of technical sciences: 05.20.01. Ulan-Ude: ESGTU:163

Choon-Ki L, Song J, Yun J, Seo J, Lee J, Kim J, Jeong G, Kim CK (2009) The optimum operating conditions of indented cylinder length grader to remove broken rice based on varietal characteristics. Korean Journal of Crop Science. 54:366–374

Fouad H (1980) The effect of cell configuration on length grading of beans. Journal of Agricultural Engineering Research. 25:391–406

Grochowicz J (1980) Machines for cleaning and sorting of seeds. Department of Agriculture. 374

Sorica C, Pirna I, Bracacescu C, Marin E, Postelnicu E (2012) Cinematic analysis of particle of impurity in conditioning process of grains into indented cylinder separators. Engineering for Rural Development:60–66

Semenov VA (2012) Separation process in a centrifugal separator with a pulsating speed change. Dissertation ... candidate of technical sciences: 05.18.12. Kaliningrad: FGBOU VPO “KSTU”:133

Sidorov IA (1997) Development and justification of the parameters of a cylindrical trier with forced removal of fractions from the cells. Dissertation ... candidate of technical sciences: 05.20.01. Kursk: VIM, KGSHA:142

Odintsov DV (2007) Improving the efficiency of the cylindrical trier with a polymeric cellular surface by substantiating the main parameters and modes of operation. Dissertation ... candidate of technical sciences: 05.20.01. Moscow: RSL:161

Shevchenko I, Aliiev E (2018) Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. 12 (4):135–142

Vasilyeva OP (2000) Improving the efficiency of separation of the grain mixture by optimizing the parameters π of the operating modes of the trier with a variable angular velocity of rotation of the cylinder. Dissertation ... candidate of technical sciences: 05.20.01. Izhevsk: IGSKHA:151

PHYSICO–MATHEMATICAL MODEL OF INTERACTION OF COMPONENTS OF THE SEED MIXTURE OF SMALL–SEED OIL CULTURES WITH THE TRIEUR WORKING BODY

E. Aliiev¹, K. Lupko², D. Dolgih²

¹*Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*

²*Dnipro State Agrarian and Economic University*

One of the ways to separate the components of the seed mixture of small-seeded oilseeds is their separation by length, which is carried out by cylindrical trieurs. Analysis of previous research has shown that the shape and size of cylindrical trieur cells are well-founded and optimized. According to research on the use of polymer composite materials, the possibility of making new forms of cells for sorting different crops has been opened up. However, these works paid little attention to the study of the operating parameters of cylindrical trieurs, which may change during the separation process depending on the composition of the input seed mixture. Therefore, the theoretical research stage is to determine the ranges of regime parameters of the selection–seed cylindrical trieurs for the separation of seed material of small–seed oil crops. As a result of studying the process of interaction of the seed mixture component with the working body of the

cylindrical honeycomb trieurs, the dependence of the angle of deviation of the center of mass of the seed mixture component on the angle of rotation of the cylinder β (θ) was obtained. The relevant dependence makes it possible to determine the minimum angle of rotation of the trieur cylinder at which the component of the seed mixture begins to rotate towards the center of mass: θ_{\min} ($n = 30$ rpm, $D = 0.2$ m) = 0.12 rad. = 6.9 °; θ_{\min} ($n = 45$ rpm, $D = 0.2$ m) = 0.33 rad. = 18.9 °; θ_{\min} ($n = 60$ rpm, $D = 0.2$ m) = 0.52 rad. = 29.8 °; θ_{\min} ($n = 30$ rpm, $D = 0.4$ m) = 0.18 rad. = 10.3 °; θ_{\min} ($n = 30$ rpm, $D = 0.6$ m) = 0.29 rad. = 16.6 °.

Key words: seeds, trieur, working body, parameters, model, interaction, efficiency.