

УДК 631.362

ДОСЛІДЖЕННЯ ГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА НАСІННЯ РІПАКУ

О. В. Богомолів¹, М. В. Брагінець¹, В. С. Хмельовський², О. О. Богомолів¹

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція авторів: brnivl2020@gmail.com.

Історія статті: отримано – січень 2021, акцептовано – червень 2021, опубліковано – 30 липня 2021 року.

Бібл. 12, рис. 4, табл. 0.

Анотація. Насіння ріпаку містить до 40...49 % олії, 21...33 % білку, 6...7 % клітковини. Ріпакова олія використовується при виробництві жирів та маргарину, а також у металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній промисловості. Недостатня вивченість процесу очищення насіннєвого матеріалу ріпаку стримують його розповсюдженість в Україні. Останнім часом, очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих рослин та домішок здійснюється шляхом удару по відбивній поверхні. Машина, які здійснюють очищення насіння ріпаку використовують однократний удар і мають низьку якість сепарації. В роботі розглянуто конструкцію гравітаційного багатоярусного сепаратора насіння ріпаку та обґрунтовано його параметри з можливістю багаторазових ударів часток вороху з відбивними поверхнями. На підставі аналізу експериментальних досліджень пружних характеристик насіння ріпаку та домішок, визначено раціональну висоту падіння насіннєвого вороху, яка знаходиться в межах 0,2...0,4 м. Теоретичні розрахунки дозволили визначити довжини польоту частинок при багаторазових відскоках від ударної поверхні та дали можливість обґрунтувати розміри ударної деки, що становлять: в поперечному напрямі 0,2 м, а в поздовжньому - 1,5 м. В результаті проведених виробничих випробувань виявлено, що найбільш прийнятною початковою швидкістю руху є $V_0 = 2$ м/с, а кут нахилу деки $\alpha = 30^\circ$. Виробничі умови роботи сепаратора довели, що при засміченості насіннєвого вороху ріпаку до 15 % вихід очищеної фракції становить 68 % насіння першого класу.

Ключові слова: насіння ріпаку, ударний сепаратор, сепарація, домішки, ударна дека

Постановка проблеми

Насіння ріпаку є важливим джерелом одержання дешевої рослинної олії та високобілкових кормів. Воно містить до 40...49 % олії, 21...33 % білку, 6...7 % клітковини. Ріпакова олія належить до групи харчових, використовується в натуральному вигляді, при виробництві жирів та маргарину, а також у

металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній промисловості та інше. Недостатня вивченість питань очищення та сушіння насіння ріпаку стримують його розповсюдженість в Україні.

Аналіз останніх досліджень

Однією з основних проблем підготовки насіннєвого матеріалу ріпаку є очищення його від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин та домішок: пікульника, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, курячого проса, мишію, горця, склеротії білої гнилі. Не вирішеними є питання доочищення фракцій насіння ріпаку після очищення на пневмо-решітних сепараторах, в яких залишається до 20 % засмічувачів та відходів з засміченістю більше 50 %, які проблемно використовувати навіть для переробки на корм тваринам та птиці [1, 2, 3, 4, 5].

Одним з перспективних способів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих рослин та домішок є сепарація за пружними властивостями. Вона здійснюється шляхом удару насіння по відбивній поверхні й поділу на фракції насіння, що рухаються після відбиття по різних траєкторіях [6, 7, 8, 9]. Недостатня вивченість закономірностей сепарації насіння за пружними властивостями стримує можливості удосконалення робочих органів пристрою, який дозволив би підвищити ефективність виконання процесу.

Мета досліджень

Метою роботи є удосконалення способу та обладнання для очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин за пружними властивостями.

Результати досліджень

Для сепарації насіння ріпаку багатьма

дослідниками пропонувалось використовувати похилі відбивні поверхні [2, 4, 10]. У більшості з них використовувався однократний удар, але у сепараторів з однократним ударом, якість сепарації є низькою. В роботі [8] було запропоновано сепаратор в якому використовується трикратний удар, а в роботі [6, 11] пропонується здійснювати сепарацію зерна на багатоярусних гравітаційних сепараторах. Тож розглянемо в цій роботі конструкційні параметри гравітаційного сепаратора насіння ріпаку з

багаторазовими ударами часток суміші з відбивними поверхнями.

Швидкість насіння в момент удару, а тобто і довжина польоту після удару залежить від висоти падіння на поверхню, що сепарує, тому були проведені дослідження залежності коефіцієнта відновлення швидкості під час удару від висоти падіння. Результати досліджень представлені на рис. 1.

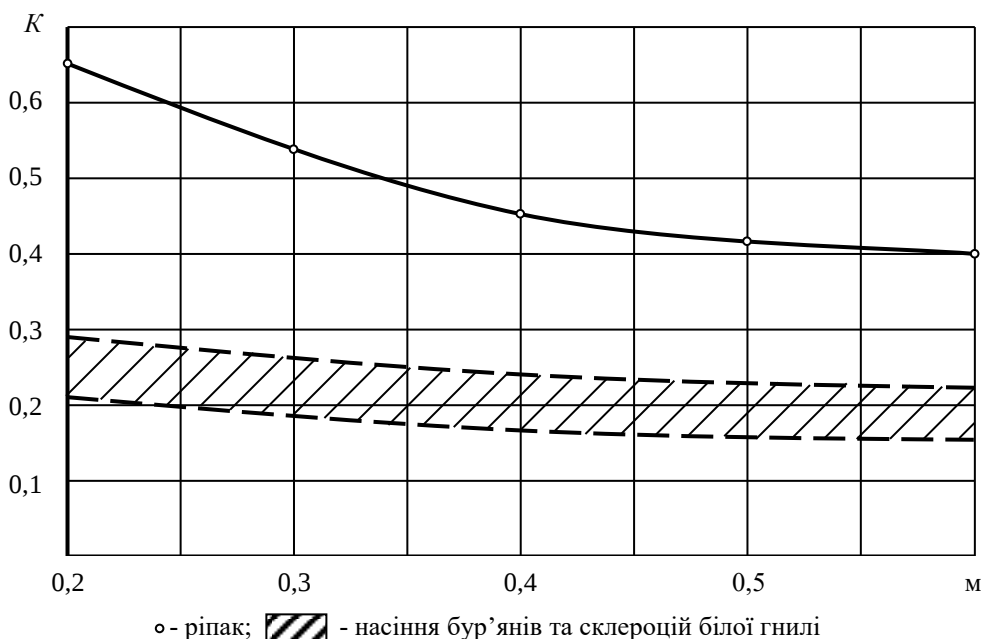


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів відновлення насіння від висоти падіння

○- rapeseed; ▨- seeds of weeds and sclerotia of white rot

Fig. 1. Dependence of seed recovery coefficients on the height of fall

Як видно з графіків, зі збільшенням висоти падіння, коефіцієнт відновлення знижується, причому для ріпаку це зниження дещо більше. Для ріпаку коефіцієнт відновлення знижується з 0,64 до 0,40, а для бур'янів з 0,21...0,28 до 0,17...0,22. Ці криві також свідчать про те, що найкраще розділення насіння ріпаку і важковідокремлюваних домішок можливе в діапазоні падіння з висоти 0,2 м до 0,4 м. Тому, при розробці конструкції багатоярусного ударного сепаратора, слід враховувати ці дані. З міркувань зменшення висоти підйому насіння ця висота повинна бути мінімальною, а з міркувань збільшення кількості повторних ударів її треба збільшувати, тому доцільно вибрати середню висоту падіння 0,3 м, яка і буде відстанню між ярусами сепаратора.

Визначимо розміри сепаруючих поверхонь з урахуванням багатократності ударів. Уточнення розмірів сепаруючих поверхонь виконаємо з використанням матеріалів отриманих в роботі [6], де були прийняті пружні відбиття частки від похило встановленої деки протягом декількох ударів. Для спрощення рівнянь, прийнято удар абсолютно пружного тіла з коефіцієнтом відновлення швидкості $R_y=1$. Схема руху частки за таких умов представлена на рис. 2.

Використовуючи рівняння руху частки в

проекціях на осі:

$$V_x = V_{0x} + a_x t; V_y = V_{0y} + a_y t;$$

$$X = V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}; Y = V_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}, \quad (1)$$

де $a_x = g \sin \alpha$; $a_y = -g \cos \alpha$; h - висота падіння, t - час між ударами.

Для реальних часток $R \neq 1$, а саме: $R < 1$. З огляду на те, що $h = \frac{V_0^2}{2g}$, а швидкість після удару

$V = R_y V_0$, одержано:

$$x_n = 4n \frac{R_y^2 V_0^2}{g} \sin \alpha. \quad (2)$$

На рис. 3 показані результати розрахунків відстаней польоту часток з різними характеристиками насіння виконаних за формулою 2.

Результати розрахунків показують, що в діапазоні зміни коефіцієнта відновлення від $R_y = 0,2$ до $R_y = 0,5$ (значення для реальних зерен), найбільш прийнятними (з конструкційної точки зору) є параметри: $V_0 = 2$ м/с, $\alpha = 30^\circ$. Для випадку $V_0 = 3$ м/с відбувається збільшення розміру похилих площин, а

для режиму з $V_0 = 1$ м/с зменшується дальність відскоків і тому для сепарації ці режими неприйнятні.

Очевидно, що бур'янисті домішки та зерно з $R_y \leq 0,1$ будуть практично ковзати з поверхні першої деки.

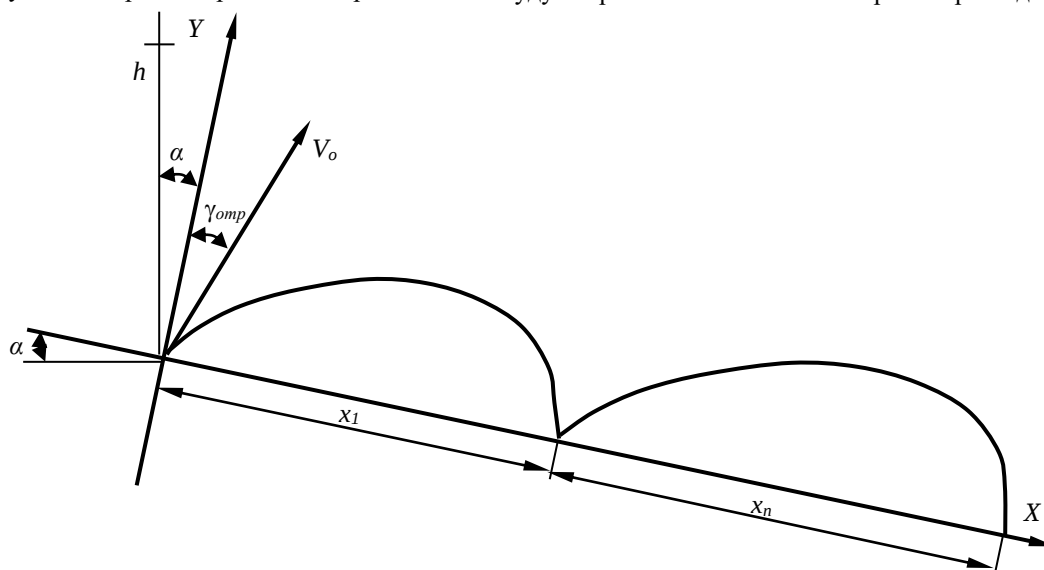


Рис. 2. Схема взаємодії частки з похилою площиною.

Fig. 2. Scheme of interaction of a particle with an inclined plane.

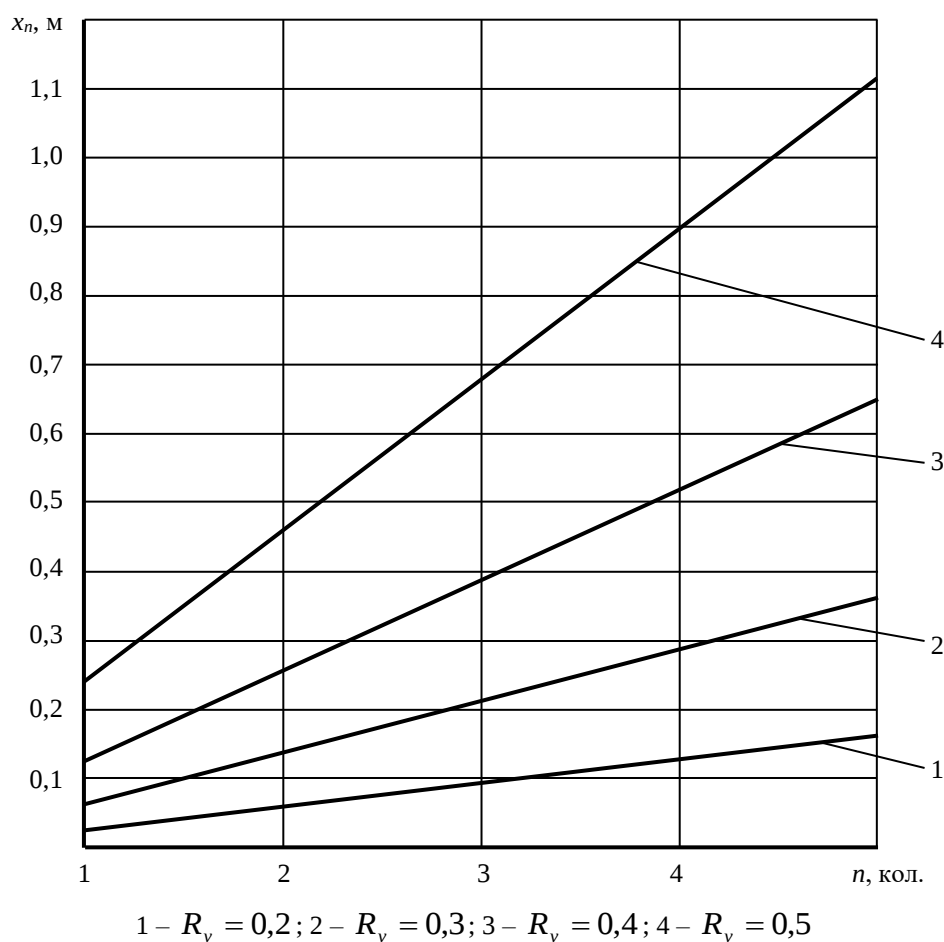


Рис. 3. Довжина польоту частки в процесі п'яти відскоків $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 2$ м/с.

Fig. 3. The flight length of the particle in the process of five rebounds $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 2$ м/с.

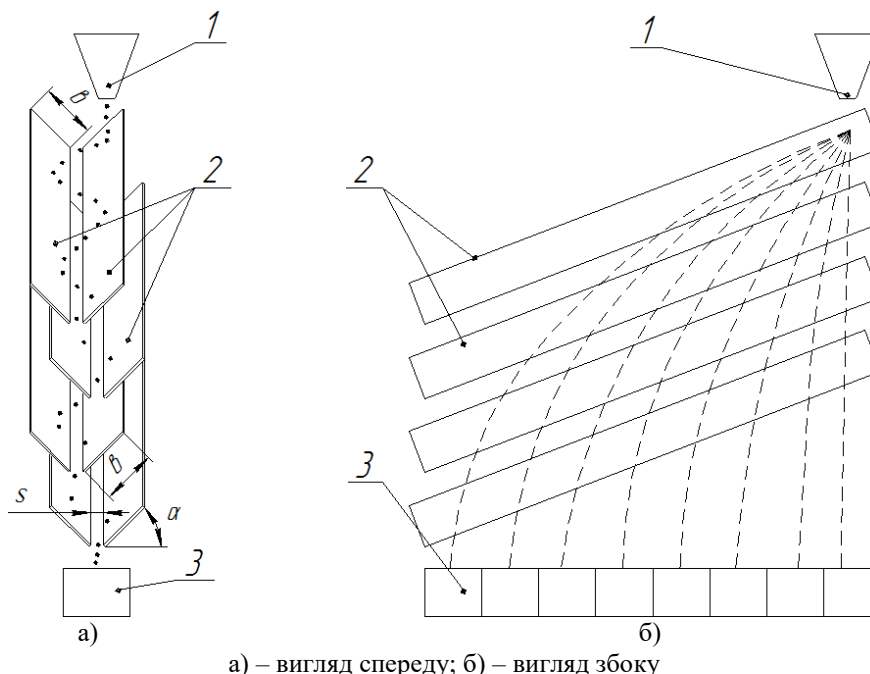
Таким чином для визначення конструкційних параметрів сепараторів з багаторазовим ударом визначена дальність польоту за n -ударів. Використовуючи залежність дальності польоту

частки, після першого удару й п'яти ударів, можна рекомендувати поперечний і поздовжній розміри сепаруючих поверхонь. Розміри ударної деки розробленого багатоярусного ударного сепаратора у

поперечному напрямі можуть бути достатнім – 0,2 м, а поздовжній – повинен бути значно більшим в зв'язку з тим, що частинки ріпаку з великим коефіцієнтом відновлення до $R = 0,5$ вже за 5 ударів при $\alpha = 30^\circ$ здатні переміститись на довжину до 1,12 м. В той же час, частинки бур'янів з коефіцієнтом навіть до $R = 0,3 \dots 0,4$ перемістяться на

величину не більшу 0,65 м. Враховуючи, що в новому розробленому нами гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі кількість ударів може бути значно більшою 5, прийемо довжину поверхонь 1,5 м.

Принципова схема розробленого гравітаційного багатоярусного сепаратора представлена на рис. 4.



а) – вигляд спереду; б) – вигляд збоку

Рис. 4. Принципіальна схема гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора

а) - front view; б) - side view

Fig. 4. Schematic diagram of a gravitational multilevel impact separator

Сепаратор складається з завантажувального пристрою 1; ярусів дек 2; приймачів продуктів розподілу 3.

Для підвищення якості сепарації сипких сумішей в багатоярусному ударному сепараторі, [12] ярус створюють пара дек, встановлених паралельно одна до одної з зазором між ними для проходу зерна, а кожний ярус зміщено один відносно іншого в поперечному напрямку до половини його ширини.

Сепаратор працює таким чином.

Вихідна суміш з бункера 1 самопливом під дією гравітаційних сил падає на одну з дек верхнього ярусу 2, де зерно після удару підскакує догори та завдяки поперечному і поздовжньому нахилу деки зміщується в польоті в поперечному і поздовжньому напрямках, потім падає на поруч розташовану деку. В межах одного ярусу зигзагоподібний рух може повторюватись декілька разів.

Потім зерно падає на нижчій ярус, де цей процес повторюється і так далі, поки частки суміші не впадуть з нижчого ярусу до приймачів продуктів поділу.

В запропонованій конструкції удосконаленого сепаратора кожний ярус зміщено один до одного в поперечному напрямку на величину, не меншу зазору між деками і не більшу за ширину деки помножену на косинус поперечного кута нахилу дек, тобто

$$S < l < b \cdot \cos \alpha,$$

де S – зазор між деками;

l – зміщення ярусів у поперечному напрямку, м;

b – ширина деки, м;

α – поперечний кут нахилу деки.

Завдяки цьому, частинки суміші після співударів на верхніх деках не потрапляють в зазор між нижчими деками, а процес сепарації продовжується аналогічно і на нижчих ярусах.

На відміну від сепараторів, в яких кожна частинка зернової суміші на кожному ярусі вдаряється тільки один раз в даному гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі, зерно вдаряється по декілька разів вже на кожному ярусі. За рахунок цього, якість сепарації в запропонованому сепараторі значно підвищується.

Проведені виробничі випробування показали високу ефективність розробленого сепаратора на очищенні суміші насіння ріпаку із засміченістю до 15 %. Вихід очищеної фракції склав 68 % насіння першого класу.

Висновки

1. В результаті експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора визначені основні конструкційні параметри: діапазони зміни коефіцієнта відновлення від $R_y = 0,2$ до $R_y = 0,5$, найбільш прийнятною початковою швидкістю руху ϵ

$V_0 = 2$ м/с, а кут нахилу деки $\alpha = 30^\circ$.

2. Розміри ударної деки розробленого багатоярусного ударного сепаратора у поперечному напрямі 0,2 м, а поздовжньому - 1,5 м.

3. При засміченості суміші насіння ріпаку до 15 % вихід очищеної фракції становить 68 % насіння першого класу.

Список літератури

1. *Скрыпник А. В.* О программе развития агропромышленного сектора юго-восточной части Украины до 2003 года. Збірник наукових праць ін-ту олійних культур УААН. 1999. Вип. 4. С. 213–216.

2. *Богомолов О. В., Брагинец М. В.* Дослідження фізико-механічних властивостей насінні ріпаку та домішків. Сучасні напрями технології та харчових виробництв. Вісник ХНТУСГ. Харків. 2015. Вип. 166. С. 235–240.

3. *Лукьяненко В. М.* Обоснование параметров процесса сепарации семян рапса и сурепки на вибрационной машине: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. ХНТУСГ. Харків. 2001. 20 с.

4. *Savinyh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S.* Development and Theoretical Studies of Grain Cleaning Machine for Fractional Technology of Flattening Forage Grain. Eng. Rural Dev. 2018. P. 124–130.

5. *Aliiev E., Yaropud V. M., Dudin V. Y., Pryshliak V. M., Pryshliak N., Ivlev V. V.* Research on sunflower seeds separation by airflow. Inmateh Agric. Eng. 2018. Vol. 56. P. 119–128.

6. *Богомолов А. В.* Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей. Харків. ХНТУСГ. 2013. 308 с.

7. Пристрій для розподілу для зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. № 57958 Україна, МКВ В 07 В 13/00. О. В. Богомолов, Ю. І. Токолов, М. О. Зінченко. № 200203187. Заявл. 7.03.2002. Опубл. 15.07.2003. Бюл. № 7.

8. *Слукин О. Л.* Повышение эффективности очистки семян рапса от сорной примеси по упругим свойствам. Автореф. дис.... канд. техн. наук. 05.20.01. Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт рапса. Липецк, 1992. 20 с.

9. *Oszczak Z.* Optymalizacja parametrów pracy pneumatycznego separatora kaskadowego. Inzynieria Rol. 2006. Vol. 7. P. 359–365.

10. *Panasiewicz M., Sobczak P., Mazur J., Zawi'slak K., Andrejko D.* The technique and analysis of the process pf separation and clearing grain materials. J. Food Eng. 2012. Vol. 109. P. 603–608.

11. *Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktaro M., Dick E., Arslanbekova S.* Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. J. Appl. Eng. Sci. 2017. Vol. 17. P. 529–534.

12. Багатоярусний ударний сепаратор: Патент на корисну модель №62244, Україна, МКВ В07 В13/00, Богомолов О. В., Богомолова В. П. №201014867. Опубл. 25.08.2011. Бюл. №16. 4 с.

References

1. *Skrypnik A. V.* (1999). On the program for the development of the agro-industrial sector of the southeastern part of Ukraine until 2003. Collection of Science Practices of the Ukrainian Academy of Sciences. 4. 213–216.

2. *Bogomolov O. V., Braginets M. V.* (2015). Pre-session of the physical and mechanical authorities of the population and houses. Succeedingly direct technologies and kharchyovykh virobnystv. Visnik KhNTUSG. Kharkiv. 166. 235–240.

3. *Lukyanenko V. M.* (2001). Substantiation of parameters of the process of separation of rapeseed and colza seeds on a vibrating machine: Author's dissertation, Candidate of Technical Sciences: 05.05.11. Kharkiv Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. Kharkiv. 20.

4. *Savinyh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S.* (2018). Development and Theoretical Studies of Grain Cleaning Machine for Fractional Technology of Flattening Forage Grain. Eng. Rural Dev. 124–130.

5. *Aliiev E., Yaropud V. M., Dudin, V. Y., Pryshliak V. M., Pryshliak N., Ivlev V. V.* (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. Inmateh Agric. Eng. 56. 119–128.

6. *Bogomolov A. V.* (2013). Separation of difficult-to-separate loose mixtures. Kharkiv. KhNTUSG. 308.

7. Device for distribution for grain materials by elastic properties: D.p. № 57958 Ukraine, MKV B 07 B 13/00. O. V. Bogomolov, Y. I. Tokolov, M. O. Zinchenko. № 200203187. Application 7.03.2002. Publ. 15.07.2003. Bull. № 7.

8. *Slukin O. L.* (1992). Improving the efficiency of cleaning rapeseed from trash by elastic properties. Abstract of thesis. dis. ... cand. tech. sciences: 05.20.01. All-Russian scientific research and design and technological institute of rapeseed. Lipetsk. .

9. *Oszczak Z.* (2006). Optymalizacja parametrów pracy pneumatycznego separatora kaskadowego. Inzynieria Rol. 7. 359–365.

10. *Panasiewicz M., Sobczak P., Mazur J., Zawi'slak K., Andrejko D.* (2012). The technique and analysis of the process pf separation and clearing grain materials. J. Food Eng. 109. 603–608.

11. *Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktaro M., Dick E., Arslanbekova S.* (2017). Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. J. Appl. Eng. Sci. 17. 529–534.

12. Multilevel impact separator: Patent for utility model №62244, Ukraine, MKV B07 B13/00, Bogomolov O. V., Bogomolova V. P. №201014867. Publ. 25.08.2011 Bull. №16.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРАТОРА СЕМЯН РАПСА

А. В. Богомолов, Н. В. Брагинец, В. С. Хмелевский, А. А. Богомолов

Аннотация. Семена рапса содержат до 40...49% масла, 21...33% белка, 6...7% клетчатки. Рапсовое масло используется при производстве жиров и

маргарина, а также в металлургической, лакокрасочной, мыловаренной, текстильной промышленности. Недостаточная изученность процесса очистки семенного материала рапса сдерживают его распространение в Украине. В последнее время, очистка семян рапса от тяжело отделяемых сорняков и примесей осуществляется путем удара об отражательную поверхность. Машины, которые осуществляют очистку семян рапса используют однократный удар и имеют низкое качество сепарации. В работе рассмотрено конструкцию гравитационного многоярусного сепаратора семян рапса и обосновано его параметры с возможностью многократных ударов частиц вороха по отбивным поверхностям. На основании анализа экспериментальных исследований упругих характеристик семян и примесей, определено рациональную высоту падения семенного вороха, которая находится в пределах 0,2...0,4 м. Теоретические расчеты позволили определить длины полета частиц при многократных отбиваниях от ударной поверхности и дали возможность обосновать размеры ударной деки, что становятся: в поперечном направлении 0,2 м, а в продольном - 1,5 м. В результате проведенных производственных испытаний выявлено, что наиболее приемлемой начальной скоростью движения является $V_0 = 2 \text{ м/с}$, а угол наклона деки $\alpha = 30^\circ$. Производственные условия работы сепаратора доказали, что при засоренности семенного вороха рапса до 15% выход очищенной фракции составляет 68% семян первого класса.

Ключевые слова: семена рапса, ударный сепаратор, сепарация, примеси, ударная дека.

$V_0 = 2 \text{ м/с}$, and the angle of inclination of the deck $\alpha = 30^\circ$. The production conditions of the separator proved that when the rapeseed seed heap is clogged up to 15%, the yield of the purified fraction is 68% of the seeds of the first class.

Key words: rapeseed, impact separator, separation, impurities, impact deck.

О. В. Богомолов ORCID 0000-0002-1531-7030.

М. В. Брагінець ORCID 0000-0002-2135-9165.

В. С. Хмельовський ORCID 0000-0002-6018-8821.

О. О. Богомолов ORCID 0000-0001-8297-2708.

RESEARCH OF GRAVITY SEPARATOR OF RAPESEE

*O. V. Bogomolov, M. V. Braginets, V. S. Khmelovskiy,
O. O. Bogomolov*

Abstract. Rapeseed contains up to 40...49% oil, 21...33% protein, 6...7% fiber. Rapeseed oil is used in the production of fats and margarine, as well as in the metallurgical, paint, soap, textile industries. Insufficient study of the process of purification of rapeseed seeds constrains its prevalence in Ukraine. Recently, the purification of rapeseed from difficult-to-separate weeds and impurities is carried out by hitting the reflective surface using the elastic properties of the seeds. The cleaning machines used a single blow and have a low separation quality. The construction of the gravitational multilevel separator of rapeseed is considered in the work and its parameters with the possibility of repeated blows of heap particles with reflective surfaces are substantiated. Based on the analysis of experimental studies of the elastic characteristics of rapeseed and impurities, the rational height of the fall of the seed heap, which is in the range of 0,2...0,4 m, was determined. Theoretical calculations allowed to determine the flight lengths of particles with repeated rebounds from the impact surface and made it possible to justify the dimensions of the impact deck in the transverse direction 0,2 m and – 1,5 m in the longitudinal. As a result of the production tests it was found that the most acceptable initial speed is