

**Сиза О.І.**, д.т.н., професор, професор кафедри хімії, технологій та фармації, Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка, [syza7@ukr.net](mailto:syza7@ukr.net).

**Syza O.I.**, Sc.D in Tech., Professor, Professor of the Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium», [syza7@ukr.net](mailto:syza7@ukr.net).

**Корольов О.О.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри хімії, технологій та фармації, Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка, [a4461461@online.ua](mailto:a4461461@online.ua).

**Korolev O.O.**, Ph.D of Technical Sciences., associateprofessor, associateprofessorof the Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium», [a4461461@online.ua](mailto:a4461461@online.ua).

**Богомолв О.В.**, д.т.н., професор, завідувач кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, [oipxv@ukr.net](mailto:oipxv@ukr.net).

**Bogomolov A. V.** Sc.D in Tech., Professor, Head of Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production State Biotechnological University, [oipxv@ukr.net](mailto:oipxv@ukr.net).

УДК 631.362.

## СЕПАРАЦІЯ НАСІННЯ ПРОСА ЗА ДАЛЬНІСТЮ ВІДСКОКУ ПІСЛЯ УДАРУ ОБ ПОХИЛУ ВІДБИВНУ ПОВЕРХНЮ

**О.О. Богомолв**

*Розглянуто питання можливості сепарації насіння проса за траєкторією відскоку після удару об похилу поверхню від насіння бур'янів, мишій та курячого проса. Отримані залежності швидкості руху насіння після удару від висоти падіння на ударну поверхню та критичної швидкості. Аналіз варіаційних кривих дальності відскоку після удару свідчить про те, що перекриваються вони не суттєво і є велика вирогідність можливості очищення основної культури від насіння важковідокремлюваних домішок.*

**Ключові слова.** Насіння, пружність, просо, мишій, куряче просо, сепарація, дальність польоту, удар.

## ON THE QUESTION OF SEPARATION OF MILLET SEEDS BY FLIGHT DISTANCE AFTER IMPACT ON AN INCLINED REFLECTIVE SURFACE

**O. Bogomolov**

*The issue of the possibility of separating millet seeds from mouse and chicken millet seeds by flight distance after hitting an inclined reflective surface from mouse and chicken millet seeds was considered. The methods of separating seed mixtures from difficult-to-separate weeds, in particular, millet seeds from mouse and chicken millet, were analyzed. It is noted that millet seeds have similar characteristics of size and aerodynamic properties to the seeds of mouse and chicken millet and therefore are difficult to separate on machines with air sieve trier working bodies, which are currently produced by the industry. It was established that one of the areas of development and improvement of processes and means of separation of millet seeds from mouse and chicken millet seeds, which requires further research, is the area of separation of the mixture according to the elastic properties of its components. It is proposed to separate the mixture of millet seeds, mouse and chicken millet due to the forces of gravity and elastic components of the mixture according to the flight distance of the particles of the mixture after the impact. The obtained dependences of the speed of seed movement on the height of the fall on an inclined surface and the critical speed. The analysis of the obtained dependences shows that when the height of the seed falls on the separating impact surface up to 0.5 m, the differences in the values of the velocities of the millet during the impact do not exceed 5%, so when calculating the aerodynamic resistance of the medium to the seed, it can be neglected. It was found that at lower seed speeds during the impact, the difference in the range of speeds after the impact decreases, which is a positive factor in improving the quality of separation. The analysis of the variation curves of the flight distance after the impact indicates the possibility of cleaning millet seeds from the seeds of the mouse and chicken millet according to the flight distance after the impact on the inclined reflecting surface. Separation by flight distance of the seed mixture of millet and fillers should be carried out according to the elastic properties of technical plywood.*

**Keywords.** *Seed, elasticity, millet, mouse, chicken millet, separation, flight range, impact.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сепарація насінневих сумішей здійснюється за різницею фізико-механічних властивостей компонентів суміші. Основними ознаками за якими здійснюють розділення сумішей є: довжина, ширина, товщина, аеродинамічні властивості, густина, коефіцієнти тертя, форма, шерехуватість, форма, колір, пружні властивості [1]. Найбільш розповсюдженими є методи сепарації за розмірами та аеродинамічними властивостями компонентів суміші [2]. Наразі, як промисловістю України, так і всього світу випускаються машини для сепарації насіння

за цими ознаками з пневмо-решітно-трієрними робочими органами, які потребують достатньо високих витрат енергії на процес сепарації [2-6]. Тому дослідження спрямовані на пошук та розробку енергозберігаючих процесів та обладнання є безперечно актуальними.

**Мета досліджень.** Аналіз та обґрунтування можливості очищення засміченого насіння проса від важковідокремлюваного насіння бур'янів мишію та курячого проса за дальністю відскоку після удару об похилу відбивну поверхню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В останні роки увага вчених все більше приділяється розвитку нового напрямку сепарації сипких сумішей у яких не витрачається енергія на процес сепарації, а саме розробці гравітаційних сепараторів насінневих сумішей. [7]. Одним з перспективних напрямів розвитку та удосконалення процесів та засобів сепарації у яких енергія не витрачається і який заслуговує особливої уваги з боку виробничників є напрям ударно-гравітаційної сепарації зерна за відмінностями у пружних властивостях та дальністю відскоку частинок від пружної поверхні [8-11]

Це пояснюється тим, що пружні властивості значної кількості сільськогосподарських культур не повністю вивчені. В той же час пружні, щільні зерна це як правило зерна з високими посівними та технологічними якостями, тому що, внутрішня структура зерна менше змінюється ніж інші властивості і має високу кореляцію з посівними та технологічними якостями.

Для досліджень була прийнята суміш насіння проса з домішками бур'янів , а саме насіння мишію та курячого проса.

Сепарація сипких сумішей за пружністю на відбивних поверхнях [9,10] має в порівнянні з іншими гравітаційними способами сепарації на похилих поверхнях, наприклад фрикційних площинах [2], або поділ у гвинтовому каналі [1,7] декілька переваг:

- контакт насіння із поверхнею проводиться при приблизно рівних швидкостях і кутах між векторами швидкості і нормаллю до самої поверхні, що забезпечує рівні умови для усієї суміші;
- область зустрічних потоків насіння мінімальна за рахунок чого знижується ймовірність порушення процесу сепарації через взаємні зіткнення частинок між собою;
- рух насіння до і після удару вільний і більше сприяє сепарації тільки за пружними властивостями, а фрикційний вплив робочої поверхні немає істотного значення при очищенні високопружного насіння.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес сепарації на відбивній поверхні розділяють на три стадії:

- отримання початкової швидкості насіння до моменту удару;
- удар насіння об відбивну поверхню, при якому відбувається зміна напрямку та швидкості руху;
- рух насіння до моменту поділу за дальністю відскоку від місця удару.

Схема сепарації насіння за пружними властивостями (рис.1) набула найбільше поширення. За цією схемою швидкість насіння до моменту удару досягається при падінні їх з певної висоти  $H$ . Поверхня 1 встановлюється під кутом  $\alpha$  до горизонту, при якому забезпечується максимальна дальність відскоку. Цей кут дорівнює  $22^\circ 30'$ [11]. Після удару частинки рухаються по параболічних траєкторіях без урахування опору повітря. Більш пружні насіння відскакують на більшу відстань і мають більш продовговату траєкторію руху. Чим більше різниця в дальності відскоку  $\Delta L_1-L_2$  пружного ( $L_1$ ) і не пружного ( $L_2$ ) зерна, тим вище ефективність його сепарації.

Тобто підвищення ефективності очищення насіння за пружністю визначається умовами, при яких різниця дальності відскоку насіння та засмічувачів максимальна.

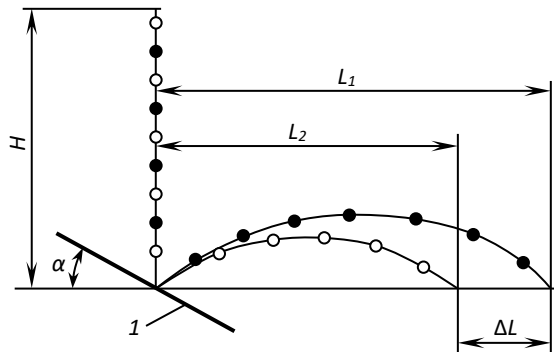


Рис. 1. Схема визначення дальності відскоку насіння після удару об робочу поверхню

1 – відбивна поверхня;

●○ насіння суміш; ● пружна компонента; ○ непружна компонента

Швидкість поступального руху насіння до моменту удару залежить від висоти падіння насіння –  $H$ , і від аеродинамічного опору середовища, у якому воно рухається, у нашому випадку повітря. Величина сили опору повітря  $R$  може бути знайдена за формулою Ньютона:

$$R = kpS(V - V_B)^2, \quad (1)$$

де  $R$  – сила опору повітря,  $n$

$k$  – коефіцієнт опору повітря;

$p$  – щільність повітря,  $кг/м^3$ ;

$S$  – площа проекції на площину, перпендикулярна напрямку повітряного потоку (міделевий перетин),  $м^2$ ;

$V$  – швидкість руху насіння,  $м/с$ ;

$V_B$  – швидкість повітря потоку,  $м/с$ .

Коефіцієнт опору повітря може бути виражений через критичну швидкість насіння  $V_{кр}$ :

$$K = \frac{mg}{pSv_{кр}^2}, \quad (2)$$

де  $m$  – маса насіння,  $кг$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $м/с^2$ ;

$V_{кр}$  – критична швидкість насіння,  $м/с$ .

Величина критичної швидкості насіння може бути знайдена експериментально на вітрильному класифікаторі. Для насіння проса критична швидкість перебуває в інтервалі 4,5...9,0  $м/с$ ; для насіння бур'янів 2,5...7,0  $м/с$ .

При падінні насіння у нерухливому повітряному середовищі  $V_B=0$ , тоді сила опору повітря для насіння визначається з вираження:

$$R = \frac{mgV^2}{v_{кр}^2}, \quad (3)$$

Диференціальне рівняння руху насіння при його падінні з деякої висоти на відбивну поверхню має вигляд:

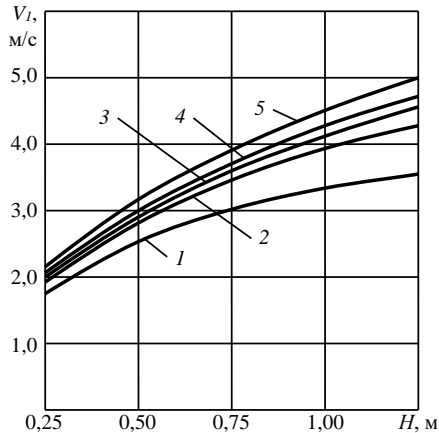
$$m \frac{dv}{dt} = mg - R = mg \left( \frac{v_{кр}^2 - v^2}{v_{кр}^2} \right). \quad (4)$$

З рівняння (4), після інтегрування та перетворень, одержуємо вираження для швидкості насіння  $V_1$  до моменту удару, як функції висоти падіння  $H$  і критичної швидкості  $V_{кр}$ :

$$V_1 = V_{кр} \sqrt{1 - e^{-2gH/V_{кр}^2}}, \quad (5)$$

де  $e$  – основа натурального логарифма.

При розрахунках по формулі (5), одержуємо графіки залежності швидкості насіння до моменту удару від висоти падіння при різних рівнях критичної швидкості насіння (рис. 2). Тут же наведений графік залежності  $V_1$  від  $H$  при падінні в безповітряному середовищі, обчислений по формулі Галілея:  $V_1 = \sqrt{2gH}$ .



**Рис. 2.** Залежність швидкості руху насіння  $V_I$  від висоти падіння  $H$  і критичної швидкості  $V_{кр}$ : 1 –  $V_{кр}=4,0\text{ м/с}$ ; 2 –  $V_{кр}=6,0\text{ м/с}$ ; 3 –  $V_{кр}=8,0\text{ м/с}$ ; 4 –  $V_{кр}=10,0\text{ м/с}$ ; 5 –  $V_I = \sqrt{2gH}$

Аналіз отриманих залежностей (рис.2) показує, що, при висотах падіння до 0,5 м відмінності у величинах швидкостей насіння проса до моменту удару не перевищують 5% і, отже, аеродинамічним опором середовища можна зневажити. З графіків видно, що зниження швидкості насіння під час удару сприяє зменшенню дальності їх польоту після удару і є позитивним чинником, бо має менший діапазон розбіжностей швидкості.

При подачі насінної суміші безперервним потоком виникає супутній рух прикордонних шарів повітря. У цьому випадку значення аеродинамічного опору повітря, як фактор, що сприяє поділу суміші, зменшується.

Для встановлення можливості якісної сепарації насіння проса від насіння бур'янів були виконані експериментальні дослідження з визначення дальності відскоку насіння проса та зазначених бур'янів після удару об похилу відбивну поверхню. Приймачі продуктів встановлювались в проміжку між відстанями  $L_1$  та  $L_2$ . Висота з якої падали частинки дорівнювала 0,3 м. При такій висоті пружні властивості насіння проявляються повністю, що доведено в [11].

Однак при сепарації насіння на відбивних сепараторах з багатократним ударом для збільшення кількості ударів, висоту в 0,1 м обирати не доцільно з-за малої дальності польоту після удару і зменшенні при цьому кількості ударів об відбивні поверхні. Більшу висоту скидання ніж 0,3м обирати недоцільно з точки зору зайвих

енерговитрат на підйом вихідної суміші до живильника. Графіки дальності відскоку представлено на рис. 3 та 4.

Після аналізу варіаційних кривих проса та бур'янів можна говорити про можливість сепарації насіння проса за дальністю відскоку, але з втратами основної культури у відході. Насіння курячого проса має більшу мінливість в дальності відскоку але менші перекриття кривих з насінням проса, тому результати сепарації проса від курячого проса будуть кращими.

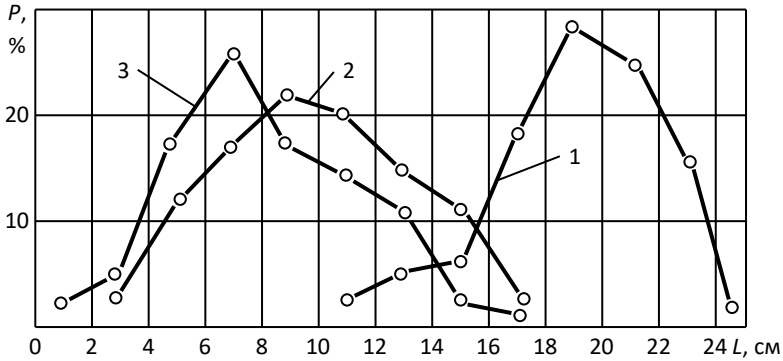


Рис. 3. Графіки дальності відскоку насіння проса та засмічувачів після удару по фанері технічній: 1 – просо; 2 – мишій; 3 – куряче просо

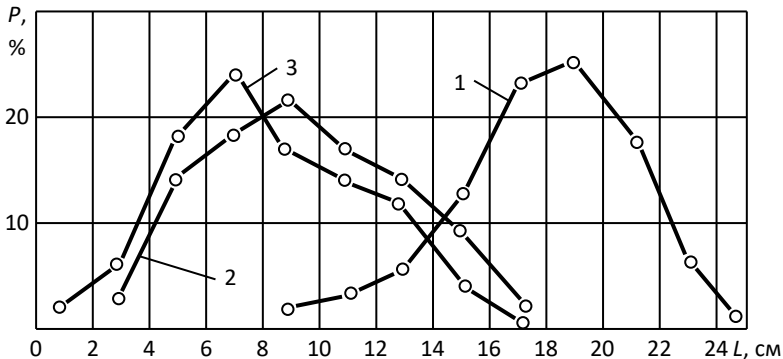


Рис. 4. Графіки дальності відскоку насіння проса та засмічувачів після удару по сталі: 1 – просо; 2 – мишій; 3 – куряче просо

В дійсності насіння проса засмічується обома і більше видами засмічувачів, тому для сепарації таких сумішей потрібно використовувати гравітаційні сепаратори з багатократним ударом, що підтверджено багатьма дослідженнями під час сепарації інших

культур [11]. Як видно з рис. 3 та 4. дещо більші розбіжності в дальності відскоку проса та засмічувачів отримані після удару насіння проса та засмічувачів по фанері технічній, тому що перекриття варіаційних кривих менші.

**Висновки.** Результати проведених досліджень дальності відскоку насіння проса та засмічувачів після удару об похилу відбивну поверхню показують, що можна очистити насіння проса від насіння мишію та курячого проса за рахунок розбіжностей у пружних властивостях компонентів суміші та ударних взаємодій зерна з похилою поверхнею після удару.

### Список джерел інформації/Referenses

1. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна /А.С. Кобец, Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних та ін.- Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2014.-614с.

Mashyny i obladnannia dlia zberihannia ta kompleksnoi obrobky zerna /A.S. Kobets, Yu.O. Chursinov, S.A. Chernykh ta in.- Dnipropetrovsk: DDAEU, 2014.-614s.

2. Наукові основи ошадливої підготовки насіння з поліпшеним біологічним потенціалом: монографія/Бредихін В.В., Богомолів О.В., Сліпченко М.В., та ін.-Харків: Діса+, 2023-408с.

Naukovi osnovy oshchadlyvoi pidgotovky nasinnia z polipshenym biolohichnym potentsialom: monohrafiia/Bredykhin V.V., Bohomolov O.V., Slipchenko M.V., ta in.-Kharkiv: Disa+, 2023-408s.

3. Gheorghe Voicu, Tudor Casandroi, Constantin Tarcolea. (2008). Testing Stochastic Models for Simulating the Seeds Separation Process on the Sieves of a Cleaning System, and a Comparison with Experimental Data. Agric. conspec. sci. Vol. 73. No. 2. P. 95-101.

Gheorghe Voicu, Tudor Casandroi, Constantin Tarcolea. (2008). Testing Stochastic Models for Simulating the Seeds Separation Process on the Sieves of a Cleaning System, and a Comparison with Experimental Data. Agric. conspec. sci. Vol. 73. No. 2. P. 95-101.

4. Богомолів О.В. До розробки алгоритму аналізу та сепарації зернових сумішей / О.В. Богомолів, В.М. Кісь, І.М. Лук'янов, В.В. Акішнін, О.О. Богомолів // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2019. – С. 60–66.

Bohomolov O.V. Do rozrobky alhorytmu analizu ta separatsii zernovykh sumishei / O.V. Bohomolov, V.M. Kis, I.M. Lukianov, V.V. Akinshyn, O.O. Bohomolov // Visnyk KhNTUSH. – Kharkiv, 2019. – S. 60–66.

5. Panasiewicz M. The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials / M. Panasiewicz, P. Sobczak, J. Mazur, K. Zawislak, D. Andrejko// Journal of Food Engineering, 2012.-P. 603-608.

Panasiewicz M. The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials / M. Panasiewicz, P. Sobczak, J. Mazur, K. Zawislak, D. Andrejko// Journal of Food Engineering, 2012.-P. 603-608.



6. Ghosh Tathagata. (2013). Modeling of an air-based density separator. Theses and Dissertations Mining Engineering. University of Kentucky UKnowledge. 139 p.

Ghosh Tathagata. (2013). Modeling of an air-based density separator. Theses and Dissertations Mining Engineering. University of Kentucky UKnowledge. 139 p.

7. Шелест А.Г. Сепарування зернових мас із використанням сил гравітації/ А.Г. Шелест, Т.П. Чернишук, В.С. Кошулько // Ж. Хранение и переработка зерна, 2017. – №11. – С.47–49.

Shelest A.H. Separuvannia zernovykh mas iz vykorystanniam syl hravitatsii / A.H. Shelest, T.P. Chernyshuk, V.S. Koshulko // Zh. Khranenyu y prererabotka zerna, 2017. – №11. – С.47–49.

8. Брагінець М.В. Питання розвитку зернопереробної галузі агропромислового комплексу України /М.В.Брагінець, О.О. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. – Вип. № 2. – С. 8–11.

Brahinets M.V. Pytannia rozvytku zernopererobnoi haluzi ahropromyslovoho kompleksu Ukrainy /M.V.Brahinets, O.O. Bohomolov // Inzheneriia pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv: Visnyk KhNTUSH, m. Kharkiv. 2016. – Vyr. № 2. – S. 8–11.

9. Брагінець М.В. Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації важкороздільних зернових сумішей / М.В.Брагінець, О.О. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. – Вип. № 2. – С. 47–51.

Brahinets M.V. Analiz konstrukttsii separatoriv dlia separatsii vazhkorozdilnykh zernovykh sumishei / M.V.Brahinets, O.O. Bohomolov // Inzheneriia pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv: Visnyk KhNTUSH, m. Kharkiv. 2016. – Vyr. № 2. – S. 47–51.

10. Багаторусний ударний сепаратор: Патент на корисну модель №62244, Україна, МКВ В07В13/00, Богомолов О.В., Богомолова В.П. №201014867. Опубл.25.08.2011. бюл. №16.-4с.

Bahatoiarusnyi udarnyi separator: Patent na korysnu model №62244, Ukraina, MKV V07V13/00, Bohomolov O.V., Bohomolova V.P. №201014867. Opubl.25.08.2011. biul. №16.-4s.

11. Богомолов А.В. Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей / А.В. Богомолов.– Харьков: ХНТУСГ, 2013. – 308 с.

Bohomolov A.V. Separatsiya trudnorazdelumykh syrchykh smesei / A.V. Bohomolov.– Kharkov: KhNTUSH, 2013. – 308 s.

**Богомолов Олександр Олексійович**, аспірант кафедри Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв ДБТУ, e-mail bogomolov25@gmail.com

**Bohomolov Oleksandr Oleksiyovych**, graduate student of the department of equipment and engineering of processing and food industries, DBTU, e-mail bogomolov25@gmail.com