

Results of experimental research on the distribution of a falling grain from a toro-shaped plate on a flat surface

V. Arendarenko | T. Samoilenko | O. Ivanov✉ | T. Ryzhkova

Article info

Correspondence Author

O. Ivanov

E-mail:

oleegivanov@yahoo.com

Poltava State Agrarian
University, 1/3,
Skovorody str., Poltava,
36003, Ukraine

Citation: Arendarenko, V., Samoilenko, T., Ivanov, O., & Ryzhkova, T. (2023). Results of experimental research on the distribution of a falling grain from a toro-shaped plate on a flat surface. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (1), 96–101. doi: 10.31210/spi2023.26.01.15

It is known that silos are loaded with grain material by gravity, a compact jet. Such loading leads to the grain hitting the concrete bottom and the side surface of the silo is injured and unevenly compacted. Uneven compaction occurs due to the stratification of grain material by size and mass. Gravitational loading of grain material in this way leads to the formation of segregation in the middle of the silo structure. Various damping devices are used to eliminate these shortcomings. At the Department of Technology and Equipment of Processing and Food Production of the Poltava State Agrarian University, a laboratory setup was developed, with the help of which research was conducted on the distribution of winter wheat grain falling from a fixed height onto a torus-shaped plate, and from it onto the concrete bottom of the installation. As a result of the research, it was established that the best distribution of grain along the bottom of a cylindrical container occurs when using a torus-shaped plate with an angle of inclination of the source to the horizon of 12°, but at the same time, the height of dumping must exceed 1.5 m. When dumping winter wheat grain using a plate with an angle of inclination of the source to the 15° and 18° horizon, a uniform grain distribution is observed on the annular planes S1, S2 and S3. Such studies enable producers to correctly install braking devices that reduce grain injury and segregation.

Keywords: distribution, grain, torus plate, installation, experiment, histograms.

Результати експериментальних досліджень по розподіленню падаючого зерна з тороподібної тарілки на пласку поверхню

В. М. Арендаренко | Т. В. Самойленко | О. М. Іванов | Т. Ю. Рижкова

Полтавський державний
аграрний університет
м. Полтава, Україна

Відомо, що завантаження силосів зерновим матеріалом, відбувається гравітаційним способом, компактним струменем. Таке завантаження призводить до того, що зерно вдаряється об бетонне дно та бокову поверхню силосу травмується і нерівномірно ущільнюється. Нерівномірне ущільнення відбувається внаслідок розшарування зернового матеріалу по величині і масі. Гравітаційне завантаження зернового матеріалу таким способом призводить до утворення в середині силосної споруди сегрегації. Для усунення цих недоліків використовуються різні демпферні пристрої. На кафедрі технології та обладнання переробних і харчових виробництв Полтавського державного аграрного університету була розроблена лабораторна установка за допомогою якої проводились дослідження по розподіленню зерна озимої пшениці, котре падаючи з фіксованої висоти на тороподібну тарілку, а з неї на бетонне дно установки. В результаті досліджень встановлено, що найкраще розподілення зерна по дну циліндричної ємності відбувається при використанні тороподібної тарілки з кутом нахилу твірної до горизонту 12°, але при цьому висота скидання повинна перевищувати 1,5 м. При скиданні зерна озимої пшениці з використанням тарілки із кутом нахилу твірної до горизонту 15° і 18°, спостерігається рівномірне розподілення зерна на кільцевих площинах S₁, S₂ і S₃. Такі дослідження дають можливість виробникам правильно встановлювати гальмуючі пристрої, котрі зменшують травмування зерна та його сегрегацію.

Ключові слова: розподілення, зерно, тороподібна тарілка, установка, дослід, гістограми.

Бібліографічний опис для цитування: Арендаренко В. М., Самойленко Т. В., Іванов О. М., Рижкова Т. Ю. Результати експериментальних досліджень по розподіленню падаючого зерна з тороподібної тарілки на пласку поверхню. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (1). С. 96–101.

Вступ

Сучасні силосні споруди які використовуються на елеваторах завантажуються двома способами: струменем або самопливом [1–3]. Такі способи завантаження приводять до травмування зерна (особливо в початковому періоді, коли зерно досягає бетонного дна силосу), сегрегації яка в свою чергу сприяє значному ущільненню зернового матеріалу у його нижніх шарах.

Сегрегація в силосах виникає в результаті нерівномірного розподілення сипкого матеріалу, який відрізняється між собою по величині, формі і щільності. Сегрегація зернового матеріалу спостерігається як на стадії вільного падіння зерна, так і на поверхні зернового насипу, внаслідок скочування великих і важких зернівок до стінок силосної ємності. Це явище приводить до зниженню міцності силосного бункера [4–8].

На рівень сегрегації зернового матеріалу в силосних спорудах основний вплив має дальність польоту їх зернівок, яка в свою чергу залежить від фізико-механічних властивостей завантажувального зерна. На результати робочого процесу завантаження, особливо на першому етапі, мають вплив такі фізико-механічні властивості зерна як об'ємна маса, парусність, сипучість, вологість щільність, питома вага, пружність. Але головними чинниками, котрі впливають на рівномірність заповнення циліндричних ємностей зерновим матеріалом є об'ємна маса, парусність та пружність зерна. Пояснюється це тим, що при падінні зернового матеріалу на дно силосної споруди різні за розмірами та щільністю зернівки отримують однакову скидальну швидкість, але різні значення кінетичної енергії, а в стадії гравітаційного польоту – різний опір повітря. Кінетична енергія зернівок з яких складається завантажувальний матеріал, та їх дальність польоту в основному залежить від розмірів та маси частинок ніж опору повітря [9–12].

Негативні наслідки нерівномірного розподілення зернового матеріалу по всій площі ємності

проявляється як в процесі завантаження так і при розвантаженні силосних бункерів. Крім того розшарування зернового матеріалу в середині бункера приводить до утворення склепін, які суттєво впливають на вивантаження зерна із ємності. Підвищена неоднорідність сипкого зернового матеріалу внаслідок сегрегації знижує технологічну придатність і споживчу вартість зерна [13–17].

Під час вільного падіння у середині силосної споруди зерновий матеріал розділяється на пилову і зернову частини. Пилова частина стає джерелом забруднення повітря, що являється згубним явищем для здоров'я людей які працюють на елеваторних підприємствах.

Виходячи із вище сказаного рівномірне та обережне завантаження силосів зерновим матеріалом є актуальною задачею.

Мета дослідження

Метою дослідження є вивчення характеру розподілення зерна озимої пшениці котре падає з фіксованої висоти спочатку на демпферну тороподібну тарілку, а з неї на пласку тверду поверхню.

Завдання дослідження. Дослідити як буде змінюватись характер розподілення зерна озимої пшениці, що падає з певної висоти на пласку тверду поверхню бетонного дна із тороподібною тарілки, кут бокової поверхні якої має три різні значення.

Матеріали і методи

Авторами даної статті була розроблена лабораторна установка за допомогою якої проводились дослідження по характеру розподілення падаючого із заданої висоти зернового матеріалу на пласке дно циліндричної ємності (рис. 1). Вихідним зерновим матеріалом слугувало зерно озимої пшениці.

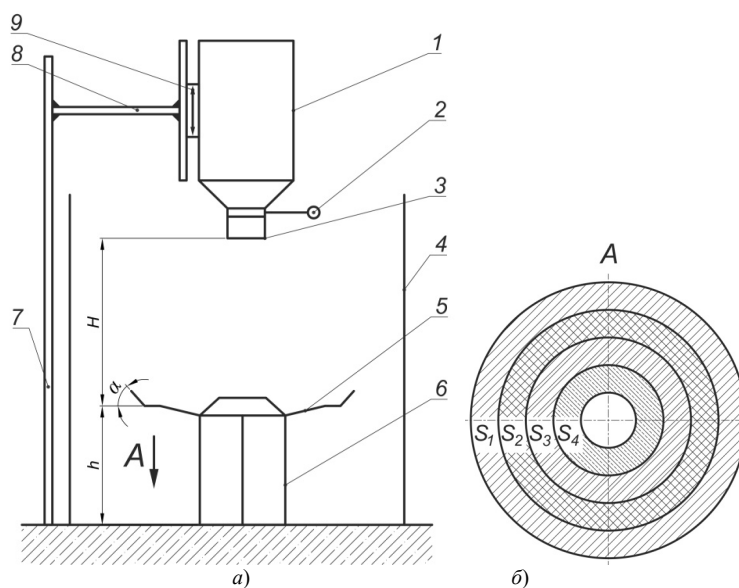


Рис. 1 Лабораторна установка: а) дослідна установка; б) кільцеві області на бетонному дні установки

Лабораторна установка (рис. 1, а) складається із бункера 1, засува 2, вихідного патрубку 3, циліндричної ємності 4, тороподібної тарілки 5, установочної платформи 6, стояка вертикального 7, квадратної труби 8, механізму підйому та опускання бункера 9. Циліндрична ємність 4 в масштабі імітує силос для зберігання зерна висотою 24 м і діаметром 16 м. Лабораторна установка має висоту 1,2 м, а її діаметр рівний 0,8 м. На бетонному дні циліндричної ємності кольоровою крейдою нанесені чотири концентричні кола (рис 1, б) відповідно діаметрами: 0,7 м, 0,6 м, 0,5 м і 0,4 м. Ці кола утворили чотири кільцеві області S1, S2, S3 і S4. Край тороподібної тарілки, яка має діаметр 0,16 м, вигнутий під кутом α до горизонту. В дослідях використовували три різні тарілки з кутами: $\alpha = 18024'$; $\alpha = 15023'$; $\alpha = 12051'$. Тороподібна тарілка встановлюється по центру бетонного дна установки на установочній платформі 5. Висота від бетонного дна до тороподібної тарілки h не змінна і дорівнює 300 мм. На пристрій для обережного завантаження зерна в силос був отриманий патент на корисну модель за номером UA 15628 U [18].

Працює лабораторна установка так, в бункер 1 завантажуються попередньо зважений на електронних вагах зерновий матеріал. За допомогою механізму підйому та опускання встановлюється висота H з якої зерновий матеріал під дією гравітаційної сили падає на тороподібну тарілку, а з неї на бетонне дно ємності. Падаючи на тороподібну тарілку зерно торкаючись її вигнутої поверхні і за рахунок своєї інерції, ковзаючи по ній, вилітає з тарілки в гору, гасячи таким чином зайву кінетичну енергію. В залежності від отриманої швидкості і маси зернівок, відбувається розподілення зернового матеріалу по круговій поверхні бетонного дна лабораторної установки. Зернівки які мають найменшу швидкість падають на кругову поверхню ближче до центра, а зернівки які мають більшу швидкість падають даліше центра ємності. Після

завершення дослідів, на встановленій висоті H , вміст зерна на чотирьох кругових поверхнях збирався в окремі чашки. Вміст зерна в чашках по черзі зважується і визначається функція щільності розподілення зернового матеріалу.

Кількість необхідного числа повторності дослідів при вибраному куту α і висоті H визначали за формулою [19 - 20]:

$$n = \frac{t^2 \cdot G^2}{(\Delta_{\text{від}} \cdot \bar{x})^2}, \quad (1)$$

де t – критерій Стьюдента; G^2 – дисперсія генеральної сукупності величини часу витікання зерна із бункера; $\Delta_{\text{від}}$ задана відносна похибка; \bar{x} середня арифметична величина часу витікання сипкого зернового матеріалу по результатам пробних дослідів.

Результати та їх обговорення

В дослідях використовувались три тороподібні тарілки, вершини яких спрямовані вниз. На рис. 2 і 3 приведені гістограми, які вказують на характер розподілення зернового матеріалу по дну лабораторної установки з використанням демпферних тороподібних тарілок, які мають три різних кута нахилу твірної до горизонту. Скидання зерна для даних тарілок проводились із двох висот 1,0 м, 1,4 м відповідно.

Під час взаємодії падаючого зернового матеріалу з робочою поверхнею тороподібної тарілки відбувається зміна лінійної швидкості зерна по величині і напрямку при його падіння на бетонне дно лабораторної установки.

На рис. 2 а, б, в представлені гістограми розподілення зернового матеріалу по дну ємності в залежності від трьох кутів нахилу твірної тарілки до горизонту. Зерновий матеріал скидався з висоти 1,0 м.

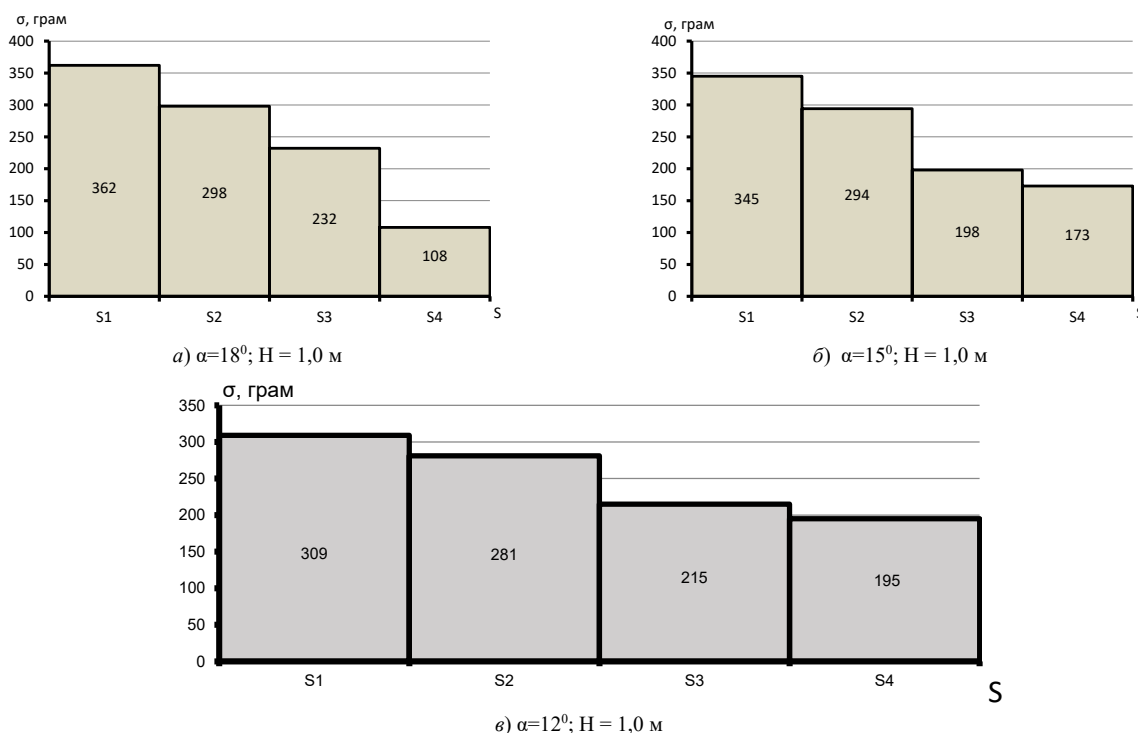


Рис. 2. Гістограми розподілення зернового матеріалу по дну циліндричної ємності при скиданні його з висоти 1 м:

а – кут нахилу твірної до горизонту 18° ; б - кут нахилу твірної до горизонту 15° ; в - кут нахилу твірної до горизонту 12°

З рисунку видно, що кут нахилу твірної суттєво впливає на характер розподілення зернового матеріалу по дну ємності. При куту $\alpha = 12^\circ$ спостерігається найбільш рівномірне розподілення зернового матеріалу по всій площі ємності.

На рис. 3 а, б, в приведені гістограми розподілення зернового матеріалу при його скиданні з висоти 1,4 м. Падаючи з цієї висоти на тарілки з трьома різними

кутами нахилу твірної тарілки до горизонту, встановлено, що найкраще розподілення зернового матеріалу по всій площі ємності при куту $\alpha = 12^\circ$. Крім того виявлено, що при збільшенні кута α росте і сегрегація зернового матеріалу у досліджує мій ємності.

Результати розподілення зернового матеріалу по дну лабораторної установки наведені на рис. 4–6.

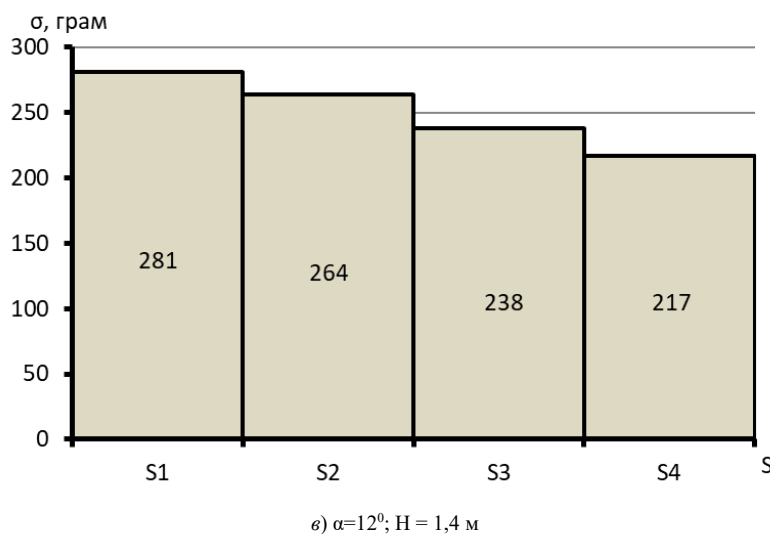
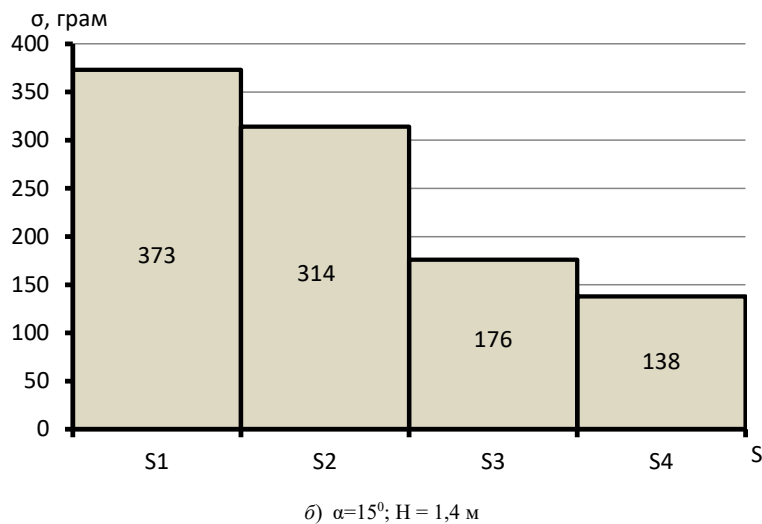
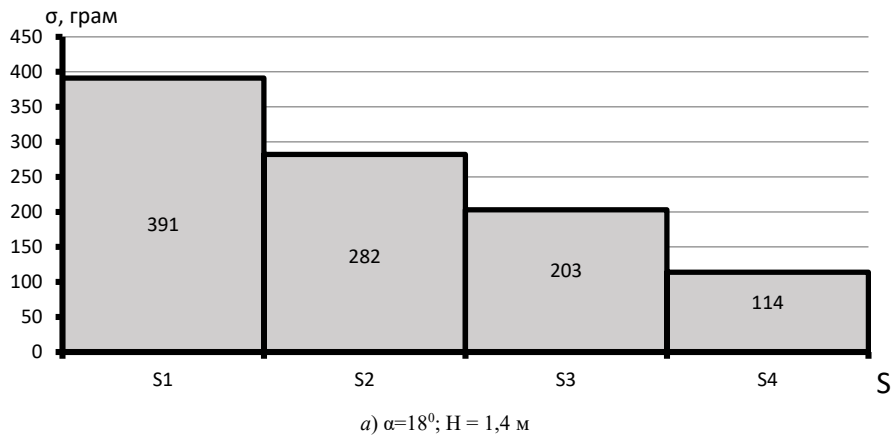


Рис. 3. Гістограми розподілення зернового матеріалу по дну циліндричної ємності при скиданні його з висоти 1,4 м:

а – кут нахилу твірної до горизонту 18° ; б - кут нахилу твірної до горизонту 15° ; в - кут нахилу твірної до горизонту 12°

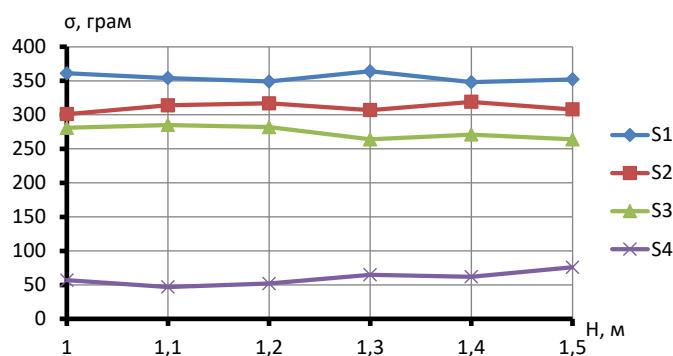


Рис. 4. Залежність розподілення падаючого з різної висоти зерна озимої пшениці по дну циліндричної ємності для тороподібної тарілки з кутом нахилу твірної до горизонту 18°

Із рисунку видно, що падаючий зерновий матеріал по різному розподіляється по круговим площинам. Так при скидання зерна з висоти 1,5 м на S_1 виявилось 324 грам зерна, на S_2 – 264 грам, на S_3 – 217 грам і на S_4 – 195 грам відповідно. Приблизно така ж тенденція розподілення зерна

пшениці спостерігається і при інших висотах скидання.

На рис. 5 представлені графіки розподілення зерна озимої пшениці яке скидалась на дно циліндричної ємності з використанням тороподібної тарілки із кутом нахилу твірної до горизонту 15°.

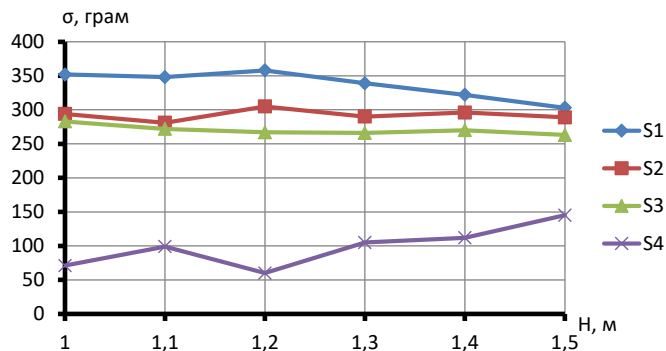


Рис. 5. Залежність розподілення падаючого з різної висоти зерна озимої пшениці по дну циліндричної ємності для тороподібної тарілки з кутом нахилу твірної до горизонту 15°

З рис. 5 видно, що при скиданні зерна пшениці з висоти 1,5 м щільність розподілення дещо різниться під попереднього дослід. Так на S_1 виявили 303 грам зерна, на S_2 – 289 грам, на S_3 – 263 грам і на S_4 – 145 грам.

На рис. 6 представлені графіки розподілення зерна озимої пшениці яке скидалась на дно циліндричної ємності з використанням тороподібної тарілки із кутом нахилу твірної до горизонту 12°.

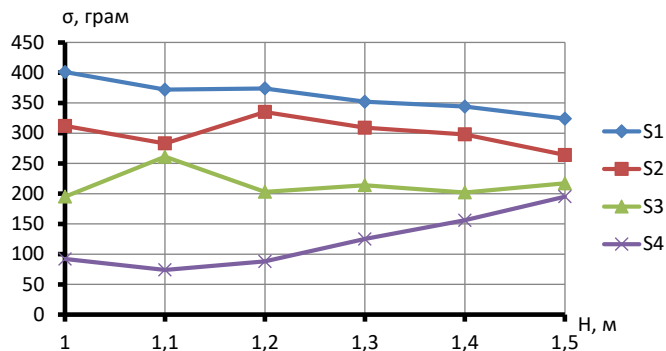


Рис. 6. Залежність розподілення падаючого з різної висоти зерна озимої пшениці по дну циліндричної ємності

З рис. 6 видно, що при скиданні зерна пшениці з висоти 1,5 м спостерігається більш менш рівномірне розподілення зернового матеріалу по всій площі

ємності. Так при скиданні зерна озимої пшениці з висоти 1,5 м на S_1 виявили 324 грам зерна, на S_2 – 284 грам, на S_3 – 217 грам і на S_4 – 195 грам.

Висновок

З проведених досліджень видно, що розподілення зернового матеріалу по дну циліндричної ємності з використанням тороподібної тарілки залежить в першу чергу від висоти скидання зерна і від кута нахилу твірної тороподібної тарілки до горизонту. Найкраще розподілення зерна по дну циліндричної ємності відбувається при використанні тороподібної тарілки з кутом нахилу твірної до горизонту 12° , але при цьому висота скидання повинна перевищувати 1,5 м. При скиданні зерна озимої пшениці з використанням тарілки із кутом нахилу твірної до горизонту 15° і 18° , спостерігається рівномірне розподілення зерна на кільцевих площинах S_1 , S_2 і S_3 . Такі дослідження дають можливість виробникам правильно встановлювати гальмуючі пристрої, котрі зменшують травмування зерна і його сегрегацію.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть направлені на розробленні теорії руху зернового матеріалу по трьом ділянках його руху. Вільне падіння з бункера до тороподібної тарілки, рух по самій тарілці і вільне падіння зерна на бетонне дно лабораторної установки.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Bakalova, A. V. (2011). Stikist smorodiny chornoj. Vplyv mikroelementiv na stikist proty sysnykh. *Quarantine and Plant Protection*, 7, 19–22. [in Ukrainian]
1. Melnyk, V. I., & Samoilenko, T. V. (2018). Analiz napriamiv udoskonalennia konstruktsii prystroiv dlia zavantazhennia sylosiv. *Inzheneriia Pryrodokorystuvannia*, 1, 83–91. [in Ukrainian]
2. Arendarenko, V. M., & Samoilenko, T. V. (2020). Sposoby zavantazhennia sylosiv zernovym materialom. *Tekhnologii i Zasoby Mekhanizatsii Silskohospodarskoho Vyrobnystva*, (52-54). Poltava [in Ukrainian]
3. Boumans, P. (1991). *E'fektivnaya obrabotka i xraneniya zerna*. Moskva [in Russian]
4. Gyachev, A. V. (1986). *Osnovy` teorii bunkerov i silosov*. Barnaul [in Russian]
5. Vinokurov, C. M., & Nikonov, S. N. (2008). *E`levatory`, sklady`, zernosusharki*. Saratov [in Russian]
6. Goryushinskij, I. V., & Mosina, N. N. (2003). Povy'shenie kachestva funkcionirovaniya bunkerny'x xranilishh uluchsheniem ix zagruzki. *Puti povy'sheniya e'fektivnosti APK v usloviyax vstupleniya Rossii v VTO*, (343-345). Ufa [in Russian]
7. Arendarenko, V. M., Antonets, A. V., Savchenko, N. K., Samoilenko, T. V., & Ivanov, O. M. (2020). Rozrakhunkova model' hravitatsiynoho rukhu zernovoho materialu v pokhylomu kanali z dyskretno zminnym kutom nakhylyu. *Visnyk Poltavskoyi Derzhavnoyi Ahraranoi Akademiyi*, 4, 273–282. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.35> [in Ukrainian]
8. Dashevskij, M. I., & Zakladnogo, G. A. (1978). *Xranenie zerna i zernovy'x produktov*. Moskva: Kolos [in Russian]
9. Sevidzh, S. (1985). Gravitacionnoe techenie nesvyazannyx granulirovannyx materialov v lotkax i kanalax. *Mexanika granulirovannyx sred: Teoriya bystryx dvizhenij*, (86-146). [in Russian]
10. Samoilenko, T. V., Arendarenko, V. M., & Antonets, A. V. (2020). Kinematyka rukhu zerna za spiral'nym prystroym zi zminnym kutovym spuskom. *Visnyk Poltavskoyi Derzhavnoyi Ahraranoi Akademiyi*, 1, 267–274. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.01.31> [in Ukrainian]
11. Arendarenko, V., Antonets, A., Ivanov, O., Dudnikov, I., & Samoilenko, T. (2021). Building an analytical model of the gravitational grain movement in an open screw channel with variable inclination angles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (111)), 100–112. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235451>
12. Dolgunin, V. N., & Borshhev, V. Ya. (2005). *By'stry'e gravitacionny'e techeniya zernisty'x materialov: texnika izmereniya, zakonomernosti, texnologicheskoe primenenie*. Moskva: Mashinostroenie [in Russian]
13. Derev'ianko, D., Sukmaniuk, O., Sarana, V., & Derev'ianko, O. (2020). Justification of influence of the working bodies of combine harvesters on damage and quality of seed. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 98 (2), 64–71. <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202002-10>
14. Negi, S. C., Lu, Z., & Jofriet, J. C. (1997). A Numerical Model for Flow of Granular Materials in Silos. Part 2: Model Validation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 68 (3), 231–236. <https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0197>
15. Komchenko, E. V., & Basyuk, S. P. (2003). Vliyanie materiala stenok bunkera na istechenie razlichny'x sy'puchix materialov. *E'nergoberezenie i e'nergoberegayushhie Texnologii v APK*, 1, 145–149 [in Russian]
16. Goryushinskij, I. V., & Mosina, N. N. (2001). K voprosu ocenki processa zagruzki emkostej sy'puchimi materialami. *Molody'e ucheny'e*, (83-84). Samara [in Russian]
17. Arendarenko, V. M., Samoilenko, T. V., & Ivanov, O. M. (2022). Patent Ukrayiny №151157. *Sposib zavantazhennya zerna u sylos*. Natsional'nyy orhani intelektual'noyi vlasnosti [in Ukrainian].
18. Samoilenko, T. V., Ivanov, O. M., & Arendarenko, V. M. (2018). Patent Ukrayiny №125628. *Prystriy dlya oberezhnoho zavantazhennya zerna v sylos*. Natsional'nyy orhani intelektual'noyi vlasnosti [in Ukrainian].
19. Lezhenkin, O., Golovlev, V., Mikhailenko, O., Rubtsov, M. (2019). Mathematical model of the movement of the combed grain heap after stripper harvesting module in the air flow. *Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University*, 19 (3), 14–21. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-14-21>
21. Dospehov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opy'ta*. Moskva: Agropromizdat [in Russian].

ORCID

- V. Arendarenko  <https://orcid.org/0000-0003-0701-7983>
T. Samoilenko  <https://orcid.org/0000-0003-4756-6223>
O. Ivanov  <https://orcid.org/0000-0002-1761-9913>
T. Ryzhkova  <https://orcid.org/0000-0002-2403-6396>



2023 Arendarenko V. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.