

SEPARATION METHODS AND SEPARATORS OF GRAIN MASS

V. Olkhovskyi, I. Dudarev*

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



ABSTRACT

Grain is a valuable raw material for food production, as well as for the production of bioethanol, alcohol, feed and medicines. Technologies of storage and primary processing of grain involve the separation process of grain mass. The quality and cost of grain largely depend on the efficiency of grain separation process. There are preliminary, primary and secondary cleaning of grain. Impurities from the grain mass are separated due to differences between their physical and mechanical properties and the properties of the grain of the main crop. These properties include: size and shape, aerodynamic properties, density, surface texture of grain mass components, coefficients of internal and external friction, elastic properties, humidity, color, etc. Different separation methods are used to separate the components of the grain mass by physical and mechanical properties, such as gravitational, mechanical, pneumatic, friction, magnetic, optical, electrical, X-ray, hydraulic and combined. Gravitational, mechanical and pneumatic grain mass separation methods are the most used. To separate from the grain mass of all impurities that have different physical and mechanical properties and nature, use a combined separation method, which involves the simultaneous or sequential separation of components of the grain mass on several grounds of divisibility. The grain mass separation method is chosen taking into account the feature that allows us during the separation to ensure the most complete separation of impurities or to divide the grain mass into fractions. Gravitational, electrostatic, magnetic, optical, pneumatic, sieve, belt and friction separators are used for separation of grain masses. For cleaning and separation into seed and food grain fractions, separators with sieve working surfaces of different construction are mainly used. Based on the results of the analysis of sieve work surfaces, their classification and classification of sieve orifices are formed.

Key words:

grain separation process,
grain separator,
grain separation methods,
separator sieves,
grain mass

Article history:

Received 05.09.2021

Accepted 01.12.2021

*Corresponding author:

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.655

To cite this article:

Olkhovskyi, V., & Dudarev, I. (2021). Separation methods and separators of grain mass. *Agricultural Machines*, 47, 102-112. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.655>

УДК 621.928:167

СПОСОБИ СЕПАРУВАННЯ ТА СЕПАРАТОРИ ЗЕРНОВОЇ МАСИ

В.О. Ольховський, І.М. Дударев*

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

AGRICULTURAL MACHINES

АМ
СМ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

Зерно є цінною сировиною для харчових виробництв, а також для виготовлення біоетанолу, спирту, комбікормів та медичних препаратів. Технології зберігання та первинного перероблення зерна передбачають процес сепарування зернової маси. Від ефективності сепарування зернової маси значною мірою залежать якість та вартість зерна. Розрізняють попереднє, первинне та вторинне очищення зерна. Домішки із зернової маси відокремлюються внаслідок відмінностей між їхніми фізико-механічними властивостями та властивостями зерна основної культури. До цих властивостей відносяться: розмір та форма, аеродинамічні властивості, густина, текстура поверхні складових зернової маси, коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя, пружні властивості, вологість, колір. Для поділу складових зернової маси за фізико-механічними властивостями застосовуються різні способи сепарування: гравітаційний, механічний, пневматичний, фрикційний, магнітний, оптичний, електричний, рентгенівський, гідравлічний та комбінований. Гравітаційний, механічний та пневматичний способи сепарування зернової маси є найбільш застосованими. Для відокремлення із зернової маси усіх домішок, які мають різні фізико-механічні властивості та природу, застосовується комбінований спосіб сепарування, що передбачає одночасний чи послідовний поділ складових зернової маси за декількома ознаками подільності. Спосіб сепарування зернової маси обирається із урахуванням ознаки, яка дозволяє під час сепарування забезпечити найбільш повне відокремлення домішок або ж розділити зернову масу на фракції. Для сепарування зернових мас використовуються гравітаційні, електростатичні, магнітні, оптичні, пневматичні, решітні, стрічкові та фрикційні сепаратори. Для очищення та розділення на фракції насінневого і продовольчого зерна використовуються сепаратори із решітними робочими поверхнями. За результатами аналізу решітних робочих поверхонь сформовано їх класифікацію та класифікацію отворів решітних поверхонь.

Ключові слова:

сепарування зерна,
зерновий сепаратор,
способи сепарування зерна,
решета сепаратора,
зернова маса

Історія публікації:

Отримано 05.09.2021

Затверджено 01.12.2021

***Автор для листування:**

i_dudarev@ukr.net

DOI: 10.36910/acm.vi47.655

Цитувати цю статтю:

Ольховський, В. О., & Дударев, І. М. (2021). Способи сепарування та сепаратори зернової маси. *Сільськогосподарські машини*, 47, 102-112. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.655>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Зерно різних культур, окрім того, що воно є посівним матеріалом, становить більшу частину світового запасу продовольства (Cassman et al., 2010) та є цінною сировиною для харчових виробництв і виготовлення спирту, біоетанолу, комбікормів, медичних препаратів (Гринчук, 2013; Бурлака, 2012). Розрізняють злакові, бобові та гречкові зернові культури (Зінченко та ін., 2008). Найбільш поширеними у світі зерновими культурами є рис, пшениця та кукурудза (Awika, 2011). Для задоволення зростаючих потреб населення планети у продуктах харчування, а також для виробництва біопалива світове виробництво зернових культур має подвоїтися до 2050 року (Ray et al., 2013). В Україні сприятливі природно-кліматичні умови для вирощування зернових, які дозволяють отримувати високий урожай. Крім того, застосування прогресивних агротехнологій та сучасної техніки дозволяє щороку підвищувати урожайність зернових культур в Україні (таблиця) (Державна служба статистики України, 2021; Савченко & Константинова, 2020). Обсяги виробництва

зерна в Україні повністю забезпечують внутрішні потреби країни та дозволяють експортувати значну частину урожаю (Лебідь & Прищепя, 2013). Найбільший експортний потенціал в Україні мають пшениця, кукурудза та ячмінь (рис. 1) (Месель-Веселяк, 2018; Пачинок, 2021).

Для зберігання і перероблення зростаючих обсягів зерна необхідне будівництво нових потужностей з сучасним високопродуктивним обладнанням та прогресивними технологіями.

Технологія зберігання та перероблення зерна передбачає його сепарування з метою відокремлення зернових (зерно неосновної культури, пошкоджене зерно основної культури) та смітних (полова, частинки соломи, насіння бур'янів, пісок, пил, частинки ґрунту тощо) домішок (Верещинський, 2018), а також розділення зерна на фракції за крупністю. Тому проведення аналізу способів сепарування зернових мас та сепараторів є актуальним завданням, що дозволить визначити фактори, які впливають на вибір способу сепарування і конструкції сепаратора, які б забезпечували високу ефективність процесу сепарування.

Таблиця – Урожайність та обсяг виробництва зернових культур в Україні (2010–2020 рр.)
(Державна служба статистики України, 2021; Савченко & Константинова, 2020)

Рік	Площа (зібрана), тис га	Урожайність з 1 га зібраної площі, ц	Обсяг виробництва (валовий збір), тис т
2010	15090	26,9	39271
2011	15724	37,0	56747
2012	15449	31,2	46216
2013	16210	39,9	63051
2014 ¹	14801	43,7	63859
2015 ¹	14739	41,1	60126
2016 ¹	14401	46,1	66088
2017 ¹	14624	42,5	61917
2018 ¹	14839	47,4	70057
2019 ¹	15318	49,1	75143
2020 ¹	14759	42,9	63344

¹ Дані представлено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, міста Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

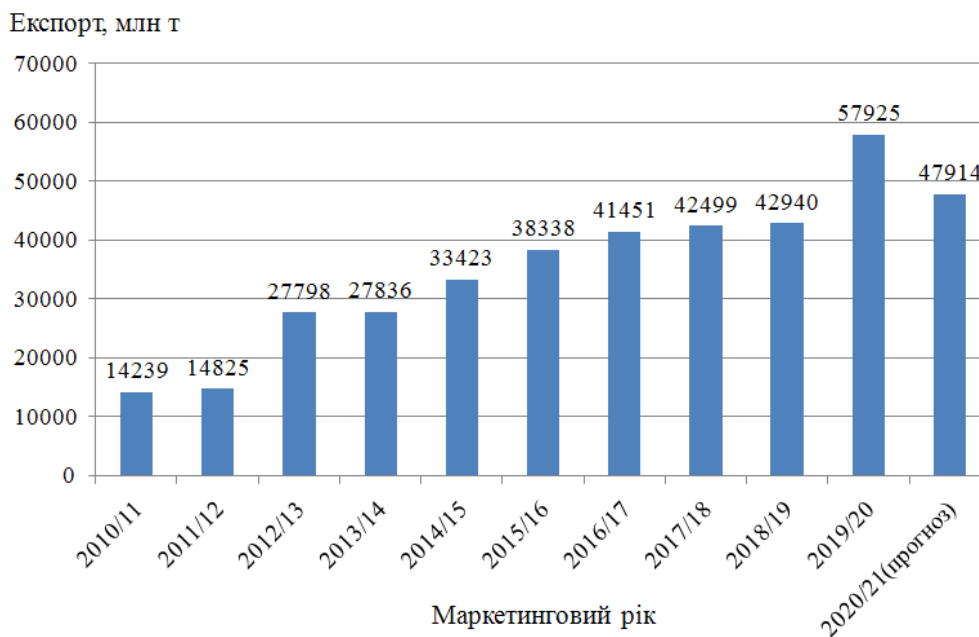


Рис. 1 – Експорт зернових та зернобобових культур з України (Пачинок, 2021)

Мета дослідження – проведення аналізу способів сепарування зернової маси та конструкцій сепараторів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження передбачало проведення аналізу способів сепарування зернових мас та конструкцій решітних робочих поверхонь сепараторів. Аналіз здійснювався на основі огляду науково-технічної літератури та інших джерел інформації. За результатами аналізу були сформовані класифікація решітних робочих поверхонь сепараторів та їх отворів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Сепарування зернової маси забезпечує підготовлення зерна та насіння до зберігання та подальшого використання як посівного матеріалу чи продовольчої сировини. Від ефективності сепарування зернової маси залежать якість та вартість зерна. Розрізняють попереднє, первинне та вторинне очищення зерна. Відокремлення крупних домішок та насіння різних бур'янів відбувається під час попереднього очищення зерна, що проводять після збирання зернових культур. Після попереднього очищення зернова маса стає більш сипкою, оскільки з неї відокремлюється не менше 50–60% бур'янистих та 99–100%

соломистих домішок (Степаненко, 2012). Ефективність первинного очищення має бути не меншою за 60% (Головин & Прокопов, 2015). На цьому етапі з маси відокремлюються домішки, що залишилися після попереднього очищення.

Особливі домішки відокремлюються під час вторинного очищення. На цьому етапі зерно також поділяється на фракції за крупністю, при цьому його втрати не повинні перевищувати 1% (Головин & Прокопов, 2015). Для унеможливлення злипання частинок зернової маси, що суттєво впливає на ефективність сепарування, вологість зернової маси не повинна перевищувати 18% (Головин & Прокопов, 2015).

Органічні та неорганічні домішки із зернової маси відокремлюються внаслідок відмінностей між їхніми фізико-механічними властивостями і властивостями зерна основної культури. До цих властивостей відносяться: розмір (довжина, ширина, товщина) та форма, аеродинамічні властивості, густина, текстура поверхні складових зернової маси (гладка, щільна, пориста, шорстка чи бугорчата), коефіцієнти внутрішнього та зовнішнього тертя, пружні властивості, вологість, колір тощо (Bracacescu et al., 2016; Гапонюк, 2010; Заика, & Мазнев, 1978; Михайлов та ін., 2020; Шуханов, 2018). Використання перелічених

властивостей складових зернової маси як ознак для подільності зумовлює різні результати: очищення, сортування, калібрування та збагачення зернової маси.

Для поділу зернової маси за фізико-механічними властивостями застосовуються різні способи сепарування (рис. 2) (Белецький та ін., 2018; Богомолов та ін., 2019; Галкин та ін., 2017; Гапонюк & Мосиенко, 2012; Кирпа & Ковальов, 2018; Куліш & Леценко, 2013; Куценко, 2014; Олексієнко та ін., 2017): гравітаційний, механічний, пневматичний, фрикційний, магнітний, рентгенівський, оптичний, електричний, гідравлічний та комбінований.

Гравітаційний, механічний і пневматичний способи сепарування зернової маси є найбільш застосованими. В основі гравітаційного способу сепарування зернових мас є використання гравітаційних властивостей їх складових, зокрема густини.

Механічний спосіб сепарування зернової маси передбачає її просіювання на конічних, плоских, спіральних або циліндричних решітчастих робочих поверхнях сепараторів, які коливаються за різними траєкторіями або/та обертаються, або шляхом трієрування зернової маси у дискових чи циліндричних трієрах. Спосіб дозволяє розділити складові зернової маси за розмірами і формою.

Під час застосування пневматичного способу сепарування відбувається розділення складових зернової маси із використанням повітряного потоку. При цьому за напрямком повітряний потік може бути вертикальним, горизонтальним і похилим (Куліш & Леценко, 2013). Цей спосіб заснований на різних

аеродинамічних властивостях складових зернової маси, зокрема швидкості витання.

За електричного способу зернова маса розділяється в електричному полі коронного розряду або в електростатичному полі (Белецький та ін., 2018).

За оптичного способу сепарування, основою якого є аналізування цифрових зображень, що отримані оптичними камерами, відбувається розділення зернової маси за кольором, текстурою та формою її складових (Солдатенко, 2018).

Рентгенівський спосіб сепарування полягає у тому, що зерно, яке має приховані дефекти, відокремлюють із зернової маси шляхом його ідентифікації із використанням отриманих зображень (Потрахов та ін., 2017).

За фрикційного способу розділення зернової маси проходить на похилих нерухомих чи рухомих, зокрема вібраційних, неперфорованих поверхнях із урахуванням фрикційних властивостей складових зернової маси, зокрема коефіцієнта зовнішнього тертя (Лукьяненко, 2015; Мечинский та ін., 2014).

Використання магнітного поля для відокремлення феродомішок із зернової маси передбачає магнітний спосіб сепарування (Самойлов та ін., 2015). Під час застосування гідравлічного способу сепарування, який заснований на урахуванні швидкості осідання частинок із різною масою у воді, відбувається розділення зерна на фракції за крупністю та відокремлення пошкодженого зерна і легких домішок (Радченко & Дутченко, 2013). Цей спосіб сепарування можна реалізувати у висхідних, горизонтальних чи обертальних потоках води.



Рис. 2 – Способи сепарування зернової маси

Як правило, для відокремлення із зернової маси усіх домішок, які мають різні фізико-механічні властивості та природу (органічного та неорганічного походження), застосовують комбінований спосіб сепарування, що передбачає одночасний чи послідовний поділ складових зернової маси за декількома ознаками подільності. Спосіб сепарування зернової маси обирається із урахуванням ознаки, яка дозволяє під час сепарування забезпечити найбільш повне відокремлення домішок або ж розділити зернову масу на фракції (Богомолов та ін., 2019).

Для сепарування зернових мас використовуються гравітаційні, пневматичні, магнітні, електростатичні, оптичні, решітні (гвинтові, конічні, плоскі, призматичні, спіральні, циліндричні), стрічкові та фрикційні сепаратори (Basiry & Esehaghbeygi, 2012; Giyevskiy et al., 2018; Nagesh & Lakshminarasimhan, 2014; Panasiewicz et al., 2012; Vasytkovskiy et al., 2019; Волынкин, 2006; Дадак, 2015; Дударев, 2017; Фалько, 2014). В основу роботи цих сепараторів покладені різні способи сепарування або їх комбінації. Виокремлюють три групи сепараторів залежно від кількості ознак, за якими проводиться сепарування зернової маси (Богомолов, 2017):

- сепаратори, в яких для поділу зернової маси використовується одна ознака (оптичні, гравітаційні, гідравлічні, електричні, магнітні, пневматичні (повітряні), рентгенівські, трієри, фрикційні);

- сепаратори, в яких поділ зернової маси проводиться послідовно за двома та більшою кількістю ознак (повітряно-решітно-трієрні, повітряно-решітні тощо).

- сепаратори, в яких для поділу зернової маси використовується комбінація ознак, причому поділ за декількома ознаками проходить одночасно на одній робочій поверхні (падді-машини, вібраційні сепаратори із фрикційними поверхнями тощо).

Для очищення та розділення на фракції насінневого і продовольчого зерна переважно використовуються сепаратори з решітними робочими поверхнями (Корнев, 2015; Сабиев & Скусанов, 2019). На **рис. 3** представлена класифікація решітних робочих поверхонь сепараторів, відповідно до якої розрізняють сепаратори з плоскими решетами, що мають круглу, прямокутну чи трапецієвидну форму, а також із гвинтовими та гіперболоїдними,

конічними, напівсферичними, спіральними та циліндричними решетами, які здійснюють коливання та/або обертання (**рис. 4**) (Байшугулова та ін., 2017; Дударев, 2017). За конструкцією решета сепараторів поділяються на (Бондаренко, 2007): листові, які виготовляються шляхом штампування та лиття решіт або свердлення отворів у сталевих листах; плетені чи ткані, які виготовляються із сталевого дроту чи синтетичних волокон; струнні (щілинні), які виготовляються із відрізків сталевого дроту чи гумових ниток, що розташовуються за довжиною решета. Листові конічні, плоскі та циліндричні решета випускаються з отворами різних розмірів, форми та розташування, що залежать від характеристик складових зернової маси. Отвори решіт бувають (Badretdinov et al., 2020; Чеботарев & Медведь, 2018): гексагональні, квадратні, круглі, овальні, прямокутні, ромбоподібні, трикутні та іншої форми. Причому за довжиною решета отвори можуть бути з однаковою або змінними довжиною. Розташування отворів на решетах може бути (Чеботарев & Медведь, 2018): «шахове»; «ялинка»; у вигляді квадрата чи шестикутника; рядками вздовж, поперек та під кутом до напрямку руху зернової маси (**рис. 5**).

На процес сепарування зерна впливають просторове розташування (вертикальне, горизонтальне, похиле) та вид коливань (еліптичні, колові, крутильні та прямолінійні) решіт. На ефективність процесу сепарування зернової маси на решетах також впливають: робочий режим поверхні сепарування (частота коливань, кутова швидкість обертання); подача маси на решето; співвідношення складових у зернової масі; довжина решета вздовж напрямку руху зернової маси; висота шару зернової маси на решеті.

Під час сепарування зернової маси на решеті має місце процес сегрегації, коли внаслідок відмінності складових маси за густиною, розміром, формою, шорсткістю та іншими фізико-механічними властивостями відбувається зміна положення частинок складових за висотою шару зернової маси (Долгунин & Иванов, 2011). Інтенсивність сегрегації суттєво впливає на ефективність процесу сепарування (Ливень, 2017): якщо складові зернової маси, які необхідно відокремити протягом перебування маси на решеті, встигнуть переміститися через шар

зернової маси до поверхні решета, то вони зможуть пройти через його отвори. Таким чином, технологічний режим робочої поверхні

сепаратора та її конструкція мають сприяти сегрегації складових зернової маси, які необхідно відокремити.



Рис. 3 – Класифікація решітних робочих поверхонь сепараторів

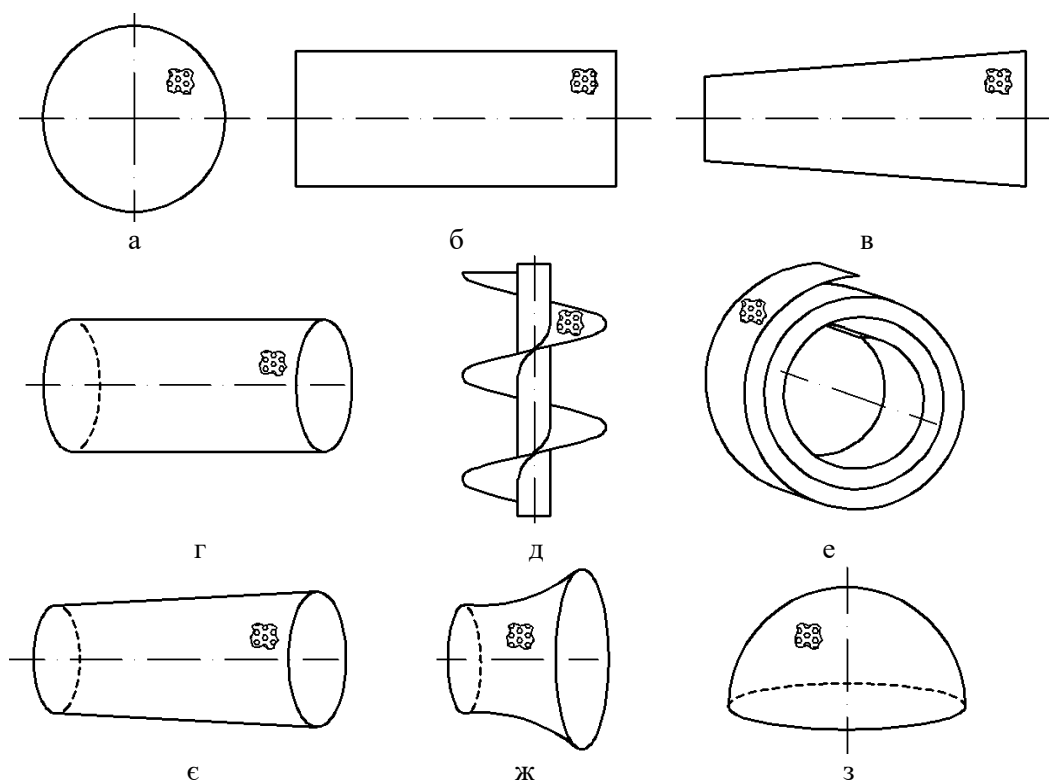


Рис. 4 – Форми решітних робочих поверхонь сепараторів:

а – плоска кругла; б – плоска прямокутна; в – плоска трапецієвидна; г – циліндрична; д – гвинтова; е – спіральна; є – конічна; ж – гіперболоїдна; з – півсферична



Рис. 5 – Класифікація отворів решітних робочих поверхонь

ВИСНОВКИ

Внаслідок нарощування виробництва зерна у світі, що обумовлене потребами людства, існує необхідність в удосконаленні технологій його зберігання та первинного перероблення, однією із основних операцій яких, що визначає якість зерна, є сепарування. Крім того, важливим є розроблення нових конструкцій сепараторів, які б забезпечували високу інтенсивність процесу сепарування та його низьку енергоємність, а також не зумовлювали б пошкодження зерна. Залежно від призначення процесу сепарування зернової маси (очищення зерна чи розділення на фракції), фізико-механічних властивостей її складових та їх вмісту застосовують різні способи сепарування або їх комбінації. Для реалізації способів сепарування розроблені різноманітні конструкції сепараторів. Для сепарування зернової маси найбільш широко використовуються решітні сепаратори або сепаратори, які забезпечують комбінування декількох способів сепарування.

Решітні робочі поверхні різняться за формою, конструкцією та режимом роботи, а їх отвори мають різні розміри, розташування та форму. Вибір конструкції сепаратора має здійснюватися із урахуванням властивостей складових зернової маси, а також призначення процесу сепарування зернової маси.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Awika, J. M. (2011). Major cereal grains production and use around the world. In J. M. Awika, V.

Piironen, S. Bean, *Advances in Cereal Science: Implications to Food Processing and Health Promotion, Vol. 1089, Chapter 1* (pp. 1-13). <https://doi.org/10.1021/bk-2011-1089.ch001>

Badretdinov, I., Mudarisov, S., Lukmanov, R., Ibragimov, R., Permyakov, V., & Tuktarov, M. (2020). Mathematical modelling and study of the grain cleaning machine sieve frame operation. *INMATEH – Agricultural Engineering, 60*(1), 19-28. <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-02>

Basiry, M., & Esehaghbeygi, A. (2012). Cleaning and charging of seeds with an electrostatic separator. *Applied Engineering in Agriculture, 28*(1), 143-147. <https://doi.org/10.13031/2013.41274>

Bracacescu, C., Gageanu, I., Popescu, S., & Selvi, K. C. (2016). Researches concerning impurities separation process from mass of cereal seeds using vibrating sieves in air flow currents. In *Engineering for Rural Development, Jelgava* (pp. 364-370).

Cassman, K. G., Grassini, P., & Wart, J. (2010). Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. In C. Rosenzweig, D. Hillel (Eds.), *Handbook of Climate Change and Agroecosystems, Imperial College Press, London* (pp. 37-51).

Giyevskiy, A. M., Orobinsky, V. I., Tarasenko, A. P., Chernyshov, A. V., & Kurilov, D. O. (2018). In *Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 327*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042035>

Nagesh, S., & Lakshminarasimhan, S. N. (2014). Development of grain separator machine. *International Journal of Engineering Research – Online, 2*(6), 161-167.

Panasiewicz, M., Sobczak, P., Mazur, J., Zawislak, K., & Andrejko, D. (2012). The technique and analysis

- of the process of separation and cleaning grain materials. *Journal of Food Engineering*, 109, 603-608. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.10.010>
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS ONE*, 8(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>
- Vasylykovskiy, O., Vasylykovska, K., Moroz, S., Sviren, M., & Storozhyk, L. (2019). The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 57(1), 63-70.
- Байшугулова, Ш. К., Ахметов, Е. С., & Есхожин, Д. З. (2017). Повышение качества работы зерноочистительных машин (*Improving the quality of grain cleaning machines*). В *Материалы Республ. научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 13: сохраняя традиции, создавая будущее», посв. 60-летию Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина, I(3)* (С. 112-115).
- Белецкий, С. Л., Гусакова, Л. П., Прияткин, Н. С., & Архипов, М. В. (2018). Методы и технические средства сепарации семян (*Methods and equipment of seed separation*). В *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: науч. сб. Вып. X* (С. 42-54). Москва: Галлея-Принт.
- Богомолов, О. О. (2017). Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації важкороздільних зернових сумішей (*Analysis of separator designs for separation of difficult-to-separate grain mixtures*). *Інженерія переробних і харчових виробництв*, 1, 47-51.
- Богомолов, О. В., Лялюк, В. І., Шаренко, А. Д., Шестірка, І. О., Єременко, В. Є., & Богомолов, О. О. (2019). Сепарація зернових сумішей за розмірами та аеродинамічними властивостями (*Separation of grain mixtures by size and aerodynamic properties*). В *Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв», ХНТУСГ, Харків* (С. 7-9).
- Бондаренко, Л. Ю. (2007). Аналіз конструкцій решіт для сортування різних матеріалів (*Analysis of sieve designs for sorting different materials*). *Праці Таврійського державного агроєкологічного університету*, 7(2), 214-220.
- Бурлака, Н. І. (2012). Україна як світовий експортер зерна (*Ukraine as a world exporter of grain*). *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки*, 3(69), 36-41.
- Верещинський, О. (2018). Правильний підхід до очищення зерна (*The right approach to grain cleaning*). *Пропозиція*, 11.
- Вольнкин, В. В. (2006). Послеуборочная обработка зерна и ее перспективы (*Post-harvest grain processing and its prospects*). *Аграрный вестник Урала*, 6(36), 34-38.
- Галкин, В. Д., Хандриков, В. А., & Хавыев, А. А. (2017). Сепарация семян в вибропневмо-оживленном слое: технология, техника, использование (*Separation of seeds in a vibro-pneumatic fluidized bed: technology, technique, use*). Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ».
- Гапонюк, І. І. (2010). Якщо добре знати характеристики смітних домішок у зерні та їх вологовміст, тоді можна забезпечити ефективне сепарування (*If you know well the characteristics of impurities in the grain and their moisture content, then you can ensure effective separation*). *Зерно і хліб*, 4(60), 25-27.
- Гапонюк, О. І., & Мосиенко, Г. А. (2012). Класифікація основних способів сепарування труднороздільних смесей (*Classification of the main methods of separation of difficult-to-separate mixtures*). *Восточно-Європейський журнал передових технологій*, 6/10(60), 55-57.
- Головин, А. Ю., & Прокопов, С. П. (2015). Інтенсифікація процесу сепарації зерна (*Intensification of the grain separation process*). *Вестник Омського ГАУ*, 2(18), 75-79.
- Гринчук, Т. П. (2013). Тенденції розвитку вітчизняного зерновиробництва (*Trends in the development of grain growing*). *Стратегія економічного розвитку України*, 33, 173-177.
- Дадак, В. О. (2015). Обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмосепаратора дрібно-насіньових сумішей (*Substantiation of parameters and operation regimes of the pneumoseparator of small-seed mixtures*) [Дисертація канд. техн. наук]. Львівський національний аграрний університет, Львів.
- Державна служба статистики України (*State Statistics Service of Ukraine*). (2021). Retrieved November 10, 2021, from <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- Долгунин, В. Н., & Иванов, О. О. (2011). Процессы и оборудование для переработки зернистых материалов в управляемых сегрегированных потоках (*Processes and equipment for the processing of granular materials in controlled segregated flows*). Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
- Дударев, І. М. (2017). Розрахунок машин зі спіральними робочими поверхнями (*Calculation of machines with spiral work surfaces*). Луцьк: Інформ.-вид. відділ Луцького НТУ.
- Зайка, П. М., & Мазнев, Г. Е. (1978). Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств (*Separation of seeds by a complex of*

- physical and mechanical properties*). Москва: Колос.
- Зінченко, О. І., Коротєєв, А. В., Каленська, С. М. та ін. (2008). *Рослинництво (Plant growing)*. За ред. О. І. Зінченка. Вінниця: Нова Книга.
- Кирпа, М. Я., & Ковальов, Д. В. (2018). Способи сепарування сумішей насіння в процесах їх післязбиральної обробки (на прикладі кукурудзи) (*Methods of seed mixtures separation in the processes of their post-harvest processing (for example, corn)*). *Селекція і насінництво*, 113, 201-208. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134379>
- Корнев, А. С. (2015). *Повышение эффективности сепарации зерна на плоских решетах зерноочистительных машин (Increasing the efficiency of grain separation on flat screens of grain cleaning machines)* [Автореф. диссертации канд. техн. наук]. Воронежский гос. аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж.
- Куліш, Д. С., & Лещенко, С. М. (2013). Огляд способів повітряного очищення зерна та напрямки його інтенсифікації (*Review of methods of grain air cleaning and directions of its intensification*). В *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград*, 2 (С. 31-33).
- Кущенко, Ю. Н. (2014). Обоснование структуры электрооборудования и системы автоматизированного управления установки сепарации зерновых культур (*Substantiation of the structure of electrical equipment and the automated control system of the grain separation plant*). *Вестник аграрной науки Дона*, 2(26), 15-21.
- Лебідь, В. М., & Прищеп, К. Є. (2013). Сучасний стан ринку зерна України, проблеми та перспективи розвитку (*Current state of the grain market of Ukraine, problems and prospects of development*). *Економічний вісник Донбасу*, 1(31), 131-135.
- Лукьяненко, В. М. (2015). Сепарация трудно-разделимых семенных смесей (*Separation of difficult-to-separate seed mixtures*). В *Scientific Proceedings III International Scientific and Technical Conference «Agricultural Machinery»*, 1 (pp. 95-98).
- Месель-Веселяк, В. Я. (2018). Виробництво зернових культур в Україні: потенційні можливості (*Cereal production in Ukraine: potential opportunities*). *Економіка АПК*, 5, 5-14.
- Мечинский, В. Е., Фоминых, А. В., Воинков, В. П., & Шестопапов, И. С. (2014). Выбор фрикционной поверхности ленточного сепаратора для очистки бобов сои (*Selection of the friction surface of the belt separator for cleaning soybeans*). *Вестник Курганской ГСХА*, 1, 56-57.
- Михайлов, Є. В., Задосна, Н. О., Ковальов, О. В., & Задосний, Д. О. (2020). Розрахунок технологічних параметрів процесу сепарування зернової суміші (*Calculation of technological parameters of grain separation process*). *Праці Таврійського державного агроєкологічного університету*, 20(4), 73-81. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-2020-20-4-73-81>
- Олексієнко, В. О., Петриченко, С. В., Вершков, О. О., & Олексієнко, В. В. (2017). Аналіз методів і засобів очищення та сепарації зерна (*Analysis of methods and equipment of grain cleaning and separation*). *Праці Таврійського державного агроєкологічного університету*, 17(1), 132-139.
- Пачинок, А. В. (2021). Сучасний стан та перспективи розвитку зернового ринку в Україні (*Current state and prospects of grain market development in Ukraine*). *Наукові записки Національного університету «Острозька академія», серія «Економіка»*, 20(48), 10-14.
- Пивень, М. В. (2017). Ефективність сепарування зернових смесей плоскими виборешетами с разрыхлителями (*Efficiency of separation of grain mixtures by flat vibrating sieves with openers*). *Інженерія природокористування*, 2(8), 38-44.
- Потрахов, Н. Н., Белецкий, С. Л., & Мусаев, Ф. Б. (2017). Рентгенсепаратор – дальнейший шаг в развитии технологии оптической сепарации (*X-ray separator – a further step in the development of optical separation technology*). *Овощи России*, 2(35), 40-42. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-2-40-42>
- Радченко, М. В., & Дутченко, З. Я. (2013). Вплив гідротермічної обробки зерна гречки на вихід та якість крупи (*Influence of hydrothermal treatment of buckwheat grain on grain output and quality*). *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*, 11(26), 128-130.
- Сабиев, У. К., & Скусанов, И. В. (2019). Сепарация зерна на плоском решете, совершающем поперечные колебания (*Separation of grain on a flat sieve performing transverse vibrations*). *Вестник Омского ГАУ*, 1(33), 141-147.
- Савченко, Т. В., & Константинова, Т. В. (2020). Міжнародна торгівля зерном: сучасний стан та перспективи розвитку для України (*International grain trade: current status and development prospects for Ukraine*). *Інфраструктура ринку*, 45, 27-31. <https://doi.org/10.32843/infrastruct45-5>
- Самойлов, В. А., Невзоров, В. Н., & Ярум, А. И. (2015). *Технологическое оборудование для переработки зерновых культур в пищевые продукты (Technological equipment for processing grain crops into food)*. Красноярск:

- Краснояр. гос. аграр. ун-т.
- Солдатенко, Л. С. (2018). Особливості конструкції і застосування фотоелектронного обладнання для розділення зерна і зернопродуктів на фракції за ознакою кольору (*Features of design and application of photoelectronic equipment for separation of grain and grain products into fractions on the basis of color*). *Зернові продукти і комбікорми*, 18(2), 45-50. <https://doi.org/10.15673/gpmf.v18i2.970>
- Степаненко, С. П. (2012). Функціонально-структурне моделювання технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на току (*Functional-structural modeling of technological processes of post-harvest processing of grain on threshing floor*). *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*, 170(2), 186-196.
- Фалько, О. Л. (2014). *Наукове обґрунтування процесу фракціонування рослинної сировини (Scientific substantiation of the process of fractionation of vegetable raw materials)* [Автореф. дисертації д-ра техн. наук]. Національний університет харчових технологій, Київ.
- Чеботарев, В. П., & Медведь, А. В. (2018). Классификация зерновых сепарирующих решетных поверхностей (*Classification of grain separating sieve surfaces*). В *Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной научно-практической конференции* (С. 64-67). Минск: БГАТУС.
- Шуханов, С. Н. (2018). Зависимость сепарации зерна от его упругости (*Dependence of grain separation on its elasticity*). *Аграрная наука*, 1, 25-26.