

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СЕПАРУВАННЯ НАСІННЯ РАЙГРАСУ ПАСОВИЩНОГО НА ПЛОСКИХ РЕШЕТАХ З ПРЯМОКУТНИМИ ОТВОРАМИ

Олексій Швець¹, к. т. н., Михайло Барановський²

¹ Львівський національний аграрний університет,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н,
Львівська обл., Україна,
e-mail: opshvets@yahoo.com

² Львівська філія УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого,
вул. Л. Мартовича, 15, смт Магерів, Жовківський р-н,
Львівська обл., Україна,
e-mail: lfilia@ukr.net

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.063>

Швець О., Барановський М. Дослідження можливості сепарування насіння райграсу пасовищного на плоских решетах з прямокутними отворами

Робота присвячена дослідженню можливості сепарування насіння злакових трав, зокрема райграсу пасовищного, на плоско-решітних сепараторах з прямокутними отворами решіт.

У роботі наведено аналіз умов сепарування насіннєвих сумішей на решітних насіннєчисних машинах за геометричними параметрами їх компонентів, встановлено основні проблеми та способи покращання якості сепарування.

Аналіз фізико-механічних властивостей та морфологічних ознак насіння райграсу пасовищного показав, що під час математичного опису процесу його сепарування на плоских решетах з прямокутними отворами окремі насінини основної культури доцільно розглядати як два еліпсоїди, один з яких розташований всередині іншого. Це пояснюється тим, що насіння злакових трав має захисну лускоподібну плівку та відносно малу зернівку і характеризується високим значенням коефіцієнта плівковості.

За допомогою рентгеноскопічного аналізу насіння райграсу пасовищного вдалося встановити, що його зернівка займає 60...70 % усієї насінини та зміщена в бік, протилежний остюку. Також за результатами рентгеноскопії вдалося дослідити геометричні розміри зернівки насінини цієї культури та розробити методику визначення координати центра ваги λ насінини. Значення досліджуваної координати центра ваги для насіння райграсу пасовищного лежать у межах $\lambda = 2,8...3,7$ мм, а його середнє значення становить 3,33 мм від основи зернівки насінини.

За результатами розрахунків встановлено, що гранична швидкість руху насіння райграсу пасовищного по плоскому решеті з прямокутними отворами, що здійснює зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині, яка регламентує повноту розділення, повинна становити $V_{max} = 18...22$ мм/с. На її значення майже не впливає значення коефіцієнта плівковості $k_{пл}$.

Ключові слова: решето, насіння, райграс пасовищний, розміри насіння, сепарування, центр ваги, гранична швидкість руху, якість розділення.

Shvets O., Baranovsky M. Investigation of the possibility of English ryegrass seeds separating on sieves with rectangular openings

The work is devoted to the study of the possibility of separation of cereal seeds, in particular, English ryegrass on sieve separators with rectangular openings.

The paper deals with the conditions of separation of seed mixtures on sieve seed cleaning machines by geometric parameters of their components. The main problems and ways to improve the quality of seed mixtures separation are identified.

An analysis of the physical and mechanical properties and morphological features of English ryegrass seeds shows that in the mathematical description of the process of its separation on sieves with rectangular holes, it is advisable to consider individual seeds of the main culture as two ellipsoids, one of which is located inside of the other. This is due to the fact that the seeds of cereals have a protective glume and a relatively small grain and are characterized by a high value of the glume coefficient.

Applying the X-ray analysis of the seeds of the English ryegrass it is possible to establish that grain core takes 60...70 % of the whole seed and is displaced to the side opposite to the arista. Also, the results of X-ray have revealed the geometric dimensions of the seed grain of the given crop and develop a method for determining the coordinate of the center of gravity λ of the seed. The values of the investigated coordinate of the center of gravity for English ryegrass seeds are within $\lambda = 2.8... 3.7$ mm, and its average value is 3.33 mm from its seed base.

According to the results of the calculations, it is established that the boundary speed of seed movement of the English ryegrass on sieve with rectangular openings, which makes reciprocating motion in the horizontal plane, should be $V_{max} = 18...22$ mm/s. The value of the k_{m} glume coefficient almost does not effect the value of boundary speed of seed movement.

Key words: sieve, seeds, English ryegrass, seed sizes, separation, center of gravity, boundary speed, separation quality.

Постановка проблеми. На решітних насіннеочисних машинах насіння розділяють на фракції за шириною і товщиною. Для розділення компонентів насінневої суміші за шириною застосовують решета з круглими отворами, а за товщиною – з прямокутними. Через круглі отвори можуть проходити тільки ті компоненти суміші, ширина яких менша за діаметр отвору решета. При цьому їх товщина і довжина не впливають на процес розділення. Для розподілу компонентів насінневої суміші за їх шириною решета підбирають з такими отворами, щоб крізь них проходили зерна другого сорту або домішки (прохід), а зерна першого сорту сходили з поверхні решета (схід). Решета з прямокутними отворами підбирають таким чином, щоб ширина їхніх отворів була меншою від товщини насіння основної культури і більшою від товщини частинок відокремлюваних домішок. Під час роботи машини через отвори цього решета пройдуть домішки, а зерно зійде сходом [2; 5; 8; 9].

Робочі розміри отворів решіт вибирають залежно від розмірів зерен вихідної зернової суміші і вимог, які ставляться до оброблюваного матеріалу. Наближено їх можна визначити за такими формулами:

- для колосових решіт

$$a_k \geq M + 3 \cdot \sigma, \quad (1)$$

- для підсівних решіт

$$a_{II} \geq M - (2...1,5) \cdot \sigma, \quad (2)$$

де a – ширина прямокутного або діаметр круглого отвору; M – середнє значення варіаційного ряду (середній розмір ознаки подільності насінин); σ – середньоквадратичне відхилення ряду (середнє відхилення розглядуваних розмірів насінин).

Крім того, решета підбирають за необхідною точністю розподілу фракцій. Найчастіше вимоги до їх підбору виражаються обмеженням втрат (відходів), вираженим у відсотках, і обмеженням умісту засмічувача в очищеному зерні [2; 4; 8; 14; 21].

Одним з основних параметрів, які визначають ефективність роботи решета, є повнота розділення, яка встановлюється як відношення маси P частинок, що фактично проходять через решето, до маси дрібних частинок, які містяться у вихідному матеріалі:

$$\varepsilon = \frac{P}{c \cdot Q}, \quad (3)$$

де P – маси частинок, що проходять через решето; c – коефіцієнт розділення, який характеризує вміст дрібних частинок у вихідному матеріалі; Q – подача зернового матеріалу на решето за одиницю часу, тобто продуктивність решета, кг/год.

Показником високої якості поділу зернових сумішей можна вважати $\varepsilon = 0,8$; середньої – $\varepsilon = 0,65$, низької – $\varepsilon = 0,5$ [2; 14; 19]. Однак для умов сучасного інтенсивного сільськогосподарського виробництва для отримання високоякісного насінневого матеріалу не достатньо приймати значення показника якості поділу $\varepsilon = 0,8$. На жаль, конструкція існуючих решітних насіннеочисних машин, їх кінематичні режими та рекомендації для обмеженої кількості культур не дозволяють покращити цей показник. Тому виникає необхідність пошуку новітніх способів розділення насінневих сумішей, розробки та дослідження роботи технічних засобів для їх реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Спосіб розділення насінневих сумішей на решетах, які здійснюють зворотно-поступальний рух, реалізується в більшості відомих решітних сепараторів, які входять до комплексу машин для первинної та вторинної очистки насіння сільськогосподарських культур [4; 5; 9 – 11; 19; 20]. Одним зі шляхів підвищення ефективності їхньої роботи та покращання якості очистки насіння від домішок є підвищення показника якості розділення за рахунок забезпечення умови проходження компонентів насінневої суміші крізь отвори решета.

Перша основна умова проходження насінин крізь отвори – це підбір такого решета, розмір отворів якого (діаметр або ширина) більший за відповідний їх розмір [2 – 4; 8 – 11].

Друга умова стосується швидкості переміщення насінин по решету. Кінематичний режим решета повинен забезпечити таку швидкість відносного руху по ньому частинок насінневої суміші, яка б не перевищувала певної межі і забезпечувала можливість западання їх в отвори решета та проходження через них [3; 4; 10; 19].

У працях [4; 10] розглядався випадок проходження частинки радіусом ρ крізь продовгуватий прямокутний отвір решета довжиною b .

Дальність польоту частинки, яка на момент підходу до краю отвору мала швидкість V_{max} (рис. 1), визначали за формулою

$$b - \rho = V_{max} t. \quad (4)$$

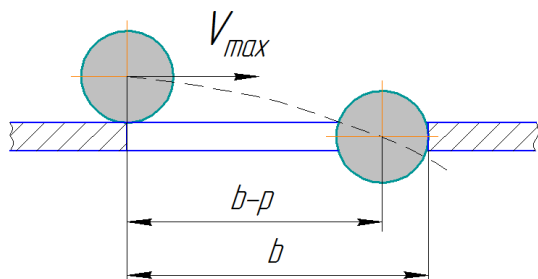


Рис. 1. Схема для визначення граничної швидкості руху насінини по решету
Fig. 1. Scheme for determining the boundary velocity of the seed on the sieve

З виразу (4) визначимо час t вільного польоту частинки:

$$t = (b - \rho) / V_{max}. \quad (5)$$

За цей час, для того щоб пройти крізь решето, під дією власної ваги насінини повинна опуститися на відстань ρ вниз:

$$\rho = \frac{gt^2}{2} = \frac{g(b - \rho)^2}{2V_{max}^2}. \quad (6)$$

З виразу (6) можна визначити максимальну швидкість:

$$V_{max} = (b - \rho) \sqrt{\frac{g}{2\rho}}. \quad (7)$$

Якщо відносна швидкість насінини буде більшою за значення, визначене за формулою (7), то вона перескочить через отвір. Крім того, якщо насінини має форму, відмінну від кулі (наприклад, еліпсоїд обертання), то вона може зорієнтуватись довгою віссю вздовж решета і не поміститься в отвір та не пройти крізь нього [4; 10; 19; 20].

Постановка завдання. Широке застосування решітних сепараторів у технологічному процесі обробки насіння злакових трав, зокрема райграсу пасовищного, гальмується відсутністю рекомендацій щодо вибору оптимальних режимів їхньої роботи, які забезпечують максимальну ефективність сепарування. Тому метою роботи було обґрунтувати кінематично-технологічні параметри процесу сепарування насіння райграсу пасовищного через поздовжні прямокутні отвори плоских решіт з урахуванням властивостей компонентів суміші.

Виклад основного матеріалу. На нашу думку, найбільш утрудненим та низькопродуктивним є сепарування насінневих сумішей злакових трав на решітних сепараторах. Це пов'язано насамперед зі складною їх будовою, оскільки вони мають високі показники плівковості (40 % і більше) [1; 6; 15 – 18]. Тому для подібного насіння ознакою подільності на решетах, які здійснюють зворотно-поступальний рух, можуть бути координати центра ваги окремих насінин, тобто відстань від центра їхньої ваги до вершини насінини. Чим більше виповнена насінини, тим ближчим буде центр ваги насінини до її геометричного центра [1; 6; 7].

Розглянемо, як залежить координата центра ваги насінини від співвідношення її компонентів. Для цього зобразимо структуру насінини у вигляді двох еліпсоїдів, один з яких розташований всередині іншого (рис. 2). Для спрощення розрахунків допустимо, що менші осі (b_0 і b_1) рівні [2].

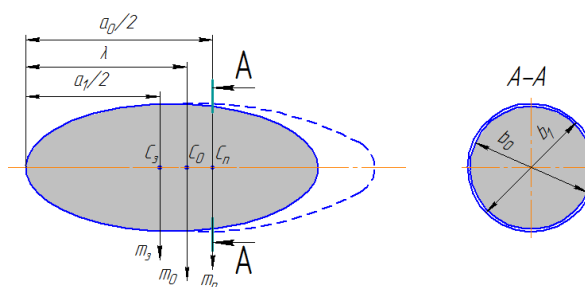


Рис. 2. Модель насінини еліпсоїдної форми з плівковою оболонкою
Fig. 2. Model of ellipsoidal seed with a film shell

Складемо рівняння моментів відносно центра ваги насінини C_0 :

$$m_p \left(\frac{a_0}{2} - \lambda \right) = m_s \left(\lambda - \frac{a_1}{2} \right), \quad (8)$$

де a_0 , a_1 – великі осі насінини і зернівки; m_p , m_s – маси плівки і зернівки; λ – координата центра ваги.

Перетворимо рівняння (8) з врахуванням того, що $\frac{a_0}{a_1} = k_{лз}$ – коефіцієнт лінійного заповнення, а $\frac{m_p}{m_p + m_s} = k_{пл}$ – коефіцієнт плівковості:

$$\lambda = \frac{a_0}{2} \left[k_{пл} + k_{лз} (1 - k_{пл}) \right]. \quad (9)$$

Аналіз рівняння (9) показує, що якщо насінини відібрані за довжиною ($a_0 = \text{const}$), то координата центра ваги λ буде функцією тільки коефіцієнтів $k_{лз}$ і $k_{пл}$, причому їх збільшення призводитиме до зростання значення λ [2].

На рис. 3 наведено світліну та рентгеновський знімок насінини райграсу пасовищного [7; 13].

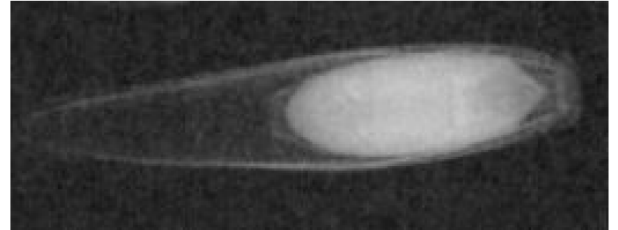
З рентгеноскопії (рис. 3, б) видно чітке зміщення зернівки в бік, протилежний остюку, а її об'єм займає 60...70 % всієї насінини [6; 7].

Визначення параметрів a_0 і a_1 для насіння райграсу пасовищного здійснювали за допомогою обробки рентгеновських світлин. Вони отримані методом рентгеноскопії зразків насіння за допомогою рентгеноскопичного апарату Faxitron MX-20, який дозволяв здійснювати необхідне масштабування та цифрове фотографування результатів попередньо підготовлених зразків [12]. Схема вимірювань наведена на рис. 4.

За результатами вимірювання формували варіаційний ряд залежності координати центра ваги насінин райграсу пасовищного від коефіцієнта лінійного заповнення та будували емпіричну залежність досліджуваних показників (рис. 5).



а



б

Рис. 3. Світлина (а) та рентгеноскопія (б) насінини райграсу пасовищного

Fig. 3. Photo (a) and radioscropy (b) of an English ryegrass seed

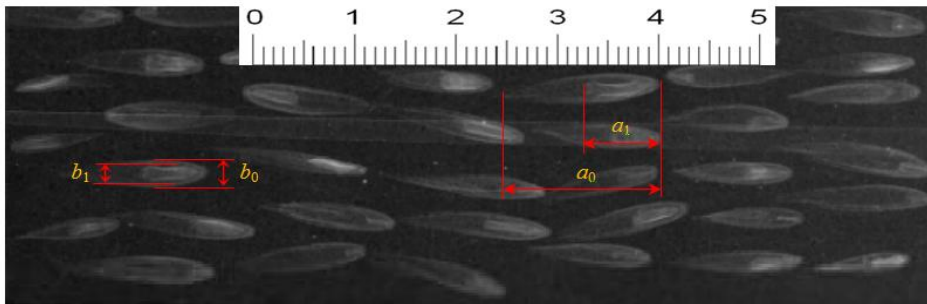


Рис. 4. Визначення геометричних параметрів насінин райграсу пасовищного за їх рентгеноскопією

Fig. 4. Determination of the geometric parameters of English ryegrass seeds by radioscropy

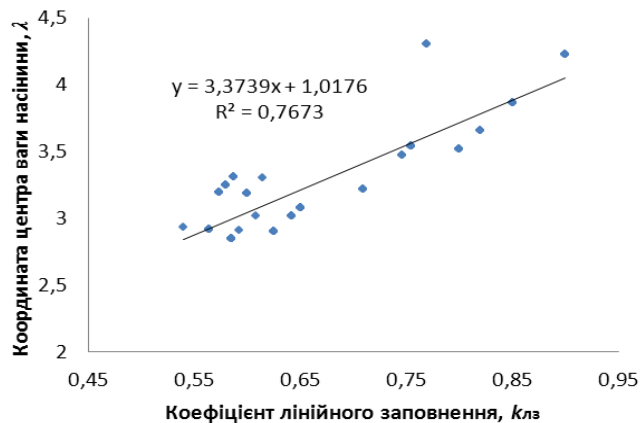


Рис. 5. Залежність координати центра ваги насінин райграсу пасовищного, мм, від коефіцієнта лінійного заповнення насінини при $k_{пл} = 0,4$

Fig. 5. Dependence of the coordinate of the gravity center of English ryegrass seed on the coefficient of linear filling of seed at $k_{пл} = 0.4$

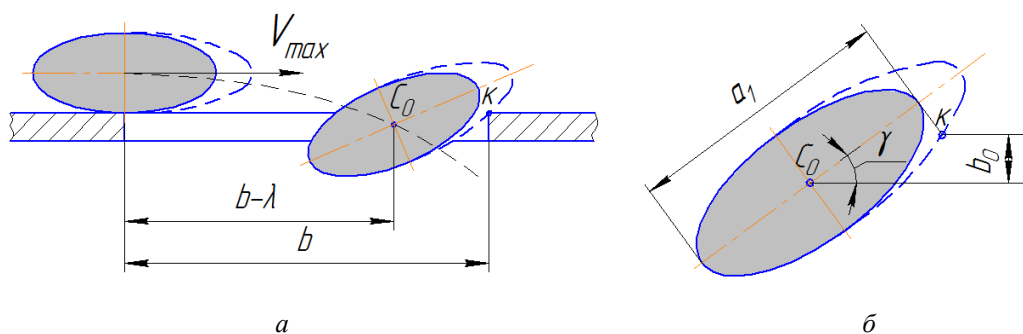


Рис. 6. Схема для визначення граничної швидкості руху насінини еліпсоїдної форми по решету з прямокутними отворами

Fig. 6. Scheme for determining the boundary velocity of an ellipsoidal seed on a sieve with rectangular holes

Аналізуючи залежність, подану на рис. 5, можна стверджувати, що зі збільшенням коефіцієнта лінійного заповнення насінини $k_{лз}$ координата розташування центра ваги насінини вздовж довшої з її осей зростає за лінійною залежністю.

Під час сепарування насіння райграсу пасовищного на плоскому решеті, яке здійснює зворотньо-поступальний рух у горизонтальній площині, вираз для визначення граничної швидкості руху насінини по решету матиме такий вигляд:

$$V_{max} = (b - \lambda) \sqrt{\frac{g}{2\lambda}}, \quad (10)$$

де b – довжина отвору решета; λ – координата центра ваги насінини.

Схема для визначення граничної швидкості руху насінини еліпсоїдної форми по решету з прямокутними отворами показана на рис. 6.

Крім того, що насінини повинна пройти від початку отвору відстань, яка не має перевищувати відстані $b - \lambda$, для гарантованого її проходження крізь отвір решета вона повинна зупинитися до виходу краю зернівки за межі отвору і повернутись відносно точки K дотику до кромки отвору решета на кут γ .

З урахуванням рис. 6, б вираз для визначення кута повороту насінини матиме вигляд

$$\sin \gamma = \frac{\lambda}{a_1/2} = \frac{2\lambda}{a_1}, \quad (11)$$

звідки

$$\gamma = \arcsin \frac{2\lambda}{a_1}. \quad (12)$$

Розрахункові залежності граничної швидкості руху насінини райграсу пасовищного по решету з прямокутними отворами під час його сепарування, визначені за (10), наведено на рис. 7.

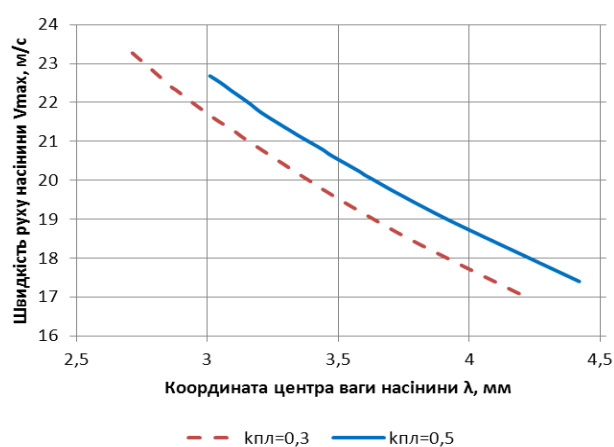


Рис. 7. Розрахункові залежності граничної швидкості руху насінини райграсу пасовищного по плоскому решету з поздовжніми прямокутними отворами від координати їх центра ваги за різних значень коефіцієнта плівковості

Fig. 7. Calculated dependences of the boundary velocity of English ryegrass seed on a sieve with rectangular holes as to coordinates of seed center gravity at different values of the film coefficient

Аналізуючи рис. 7, можна зробити висновок, що для насінин з більшим розміром зернівки швидкість їх руху по решету під час сепарування має бути меншою і зростатиме в міру віддалення центра ваги в бік, протилежний від остюка.

Висновки

1. Аналіз літературних джерел свідчить про відсутність науково-практичних рекомендацій ефективного використання решітних сепараторів у технологічному процесі післязбиральної обробки насіння злакових трав.

2. Під час математичного опису процесу сепарування насіння райграсу пасовищного на

плоских решетах з поздовжніми прямокутними отворами його насінину доцільно розглядати як два еліпсоїди, один з яких (зернівка) розташований всередині іншого (плівка), що визначається узагальненим коефіцієнтом плівковості.

3. Рентгеноскопічний аналіз насіння райграсу пасовищного дозволив встановити, що його зернівка займає лише 60...70 % усієї насінини та зміщена в бік, протилежний остюку. Встановлене середнє значення координати центра ваги λ насінини 3,33 мм від її основи.

4. За умовою проходження насінин райграсу пасовищного через з поздовжні прямокутні отвори їх гранична швидкість руху по плоскому решеті, яке здійснює зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині, повинна становити $V_{max} = 18...22$ мм/с.

5. Встановлено, що значення коефіцієнта плівковості $k_{пл}$ майже не впливає на граничну швидкість руху насіння по решеті.

Бібліографічний список

1. Антонів С. Ф. Насінництво злакових трав. *Селекція і насінництво*. 2005. № 11. С. 7–18.
2. Арнольд А. Э., Каменир Э. А., Лихачев Б. С. Обоснование технологической схемы разделения семян овса. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1987. № 12. С. 10–12.
3. Василенко П. М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / УАСХН. Киев, 1960. 284 с.
4. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. для студентів ВНЗ / за ред. Д. Г. Войтюка. Суми: Унів. кн., 2008. 543 с.
5. Гусев В. А., Дударев І. М., Токарчук М. В. Огляд конструкцій сепараторів сипких матеріалів. *Сільськогосподарські машини*: зб. наук. статей. Луцьк: Луцький НТУ, 2019. Вип. 42. С. 20–28.
6. Дадак В. О. Аналіз основних фізико-механічних властивостей насіння багаторічних трав та їх засмічувачів. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій*: матеріали Міжнар. наук.-практ. форуму (Львів, 18-21 вер. 2012 р.). Львів: ЛНАУ, 2012. С. 521-525.
7. Дадак В. О. Обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмосепаратора дрібнонасіньових сумішей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2015. 20 с.
8. Дринча В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж: Изд-во НПО «МЭДОК», 2006. 384 с.
9. Єрмак В. П., Богданов С. В., Ільченко А. А. Класифікація засобів сепарації та конструкцій машин для відбору насіння з високими посівними властивостями. *Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету*. 2012. № 35. С. 127–132.
10. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Харків: Око, 2006. Т. 3. 408 с.
11. Зюлин А. Н. Исследование процесса сепарации зерна по длине частиц на решетном обогатителе к триеру: науч. отчет ВИМ. Москва: ВИМ, 1977. 216 с.
12. Ковалишин С. Й., Швець О. П. Оцінка якості насіння методом рентгеноскопічного аналізу. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву*: каталог інноваційних розробок. Львів, 2017. Вип. 17. С. 41.
13. Ковалишин С. Й., Швець О. П., Щур Т. Г., Дадак В. О., Доманюк П. Ю. Визначення посівних якостей насіння сільськогосподарських культур методом його рентгеноскопії. *Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 12. С. 294–301.
14. Косилов Н. И. Состояние и тенденции совершенствования зерноуборочных машин: учеб. пособие. Челябинск, 1983. 99 с.
15. Лихочвор В. В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів: Укр. технології, 2002. 800 с.
16. ДСТУ 7160:2010. Насіння овочевих, баштанних, кормових і пряно-ароматичних культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. [Чинний від 2010-07-01]. Вид офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 19 с. (Національний стандарт України).
17. Технології вирощування бобових і злакових трав на насіння / за заг. ред. В. Ф. Петриченка. Вінниця: Ін-т кормів УААН, 2008. 48 с.
18. Посібник українського хлібороба: наук.-практ. щорічник. Т. 2: Селекція і насінництво польових культур / [гол. ред. В. В. Кириченко]. Київ: Академпрес, 2012. Т. 2. 340 с.
19. Рибарук В. Я. Сільськогосподарські машини: практикум розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: За вільну Україну, 1998. 263 с.
20. Сало В. М., Лузан П. Г., Богатирьов Д. В. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: монографія / за ред. В. М. Сала. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В. Ф., 2013. 148 с.
21. Ямпілов С. С., Дондоков Ю. Ж. Решетный стан зерноочистительной машины. *Информ. листок ВСТИ Бурят. ЦНТИ*. Улан-Удэ, 1998. Вип. 51. С. 1-3.

Стаття надійшла 22.05.2020