

**Росомаха Ю.О.,
Мартишко В.М.**
Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України,
м. Київ, Україна
E-mail:
rogovskii@nubip.edu.ua

**АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ
ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ
ДЛЯ ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ЗБИРАННЯ ПЛОДІВ**

<https://doi.10.5281/zenodo.15428024>

УДК 631.599

Росомаха Ю.О., Мартишко В.М. Аналіз параметрів транспортного засобу для потокової технології збирання плодів.

Анотація. Розкрито особливості методичного обґрунтування параметрів транспортного засобу для потокової технології збирання плодів. Збалансований розвиток всіх ланок АПК – необхідна умова забезпечення країни продовольством, зокрема плодоовочевою сировиною. В даний час слабкий розвиток переробних галузей АПК, виробничої інфраструктури комплексу призводять до значних втрат продукції сільського господарства. Так, втрати зібраних плодів і овочів становлять 40–45%. Потреба в транспортних засобах для садівництва і овочівництва, задовольняється лише на 55–60%. Одним з найбільш істотних і складних завдань є зменшення ушкоджень і втрат сільськогосподарської продукції, де відповідальна роль відводиться транспортним засобам. Як показав аналіз, в процесі збирання яблук більше 15–20 % продукції не доходить до споживача. Для внутрішньогосподарського перевезення плодів використовують ящики або контейнери. Плоди зерняткових культур перевозять безтарним способом (в кузовах автомобілів і тракторних причепах). Використання транспортних засобів загального призначення не відповідають агротехнічним вимогам до перевезення плодів, а спеціальні транспортні засоби для перевезення плодів безтарним способом відсутні. Викладено доцільність використання для потокової технології збирання плодів спеціальних контейнерів-накопичувачів, обґрунтовані основні їх параметри, в тому числі оптимальна вантажопідйомність.

Ключові слова: *плоди, технологія, транспортування, механічні пошкодження, вантажопідйомність.*

Rosomakha Yu.O., Martyshko V.M. Analysis of vehicle parameters for flow technology of fruit harvesting.

Abstract. The article reveals the features of the methodological justification of vehicle parameters for flow technology of fruit harvesting. Balanced development of all links of the agro-industrial complex is a necessary condition for providing the country with food, in particular fruit and vegetable raw materials. Currently, the weak development of the processing branches of the agro-industrial complex, the production infrastructure of the complex lead to significant losses of agricultural products. Thus, losses of harvested fruits and vegetables are 40-45%. The need for vehicles for gardening and vegetable growing is satisfied only by 55-60%. One of the most significant and complex tasks is to reduce damage and losses of agricultural products, where a responsible role is assigned to vehicles. As the

analysis showed, in the process of harvesting apples, more than 15-20% of the products do not reach the consumer. For intra-farm transportation of fruits, boxes or containers are used. Fruits of pome crops are transported in bulk (in car bodies and tractor trailers). The use of general-purpose vehicles does not meet the agrotechnical requirements for transporting fruits, and there are no special vehicles for transporting fruits in bulk. The feasibility of using special storage containers for the flow technology of fruit harvesting is outlined, and their main parameters are substantiated, including optimal load capacity.

Key words: *fruits, technology, transportation, mechanical damage, load capacity.*

Постановка проблеми

Для внутрішньогосподарського перевезення плодів використовують ящики або контейнери. Часом плоди зерняткових культур перевозять безтарним способом (в кузовах автомобілів і тракторних причепах) [1]. Використання транспортних засобів загального призначення не відповідають агротехнічним вимогам до перевезення плодів [2]. Спеціальні транспортні засоби для перевезення плодів безтарним способом відсутні [3]. Технологічний процес збирання і транспортування плодів включає в себе ряд операцій, які виконують як вручну, так і за допомогою механізмів та машин в певній послідовності з дотриманням агротехнічних вимог з метою отримання продукції необхідної якості з мінімально можливими затратами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Стабільної інтенсифікації виробництва плодів можна досягти на базі застосування поточкових способів збирання і транспортування [4]. При цьому всі операції – знімання плодів, затарювання в контейнери, транспортування, розвантаження і товарна обробка плодів взаємопов'язані відповідно до технологічного циклу і виконуються з дотриманням чіткої послідовності – в єдиному потоці [5–7]. Обов'язковою умовою при цьому є: відсутність розриву в часі між окремими операціями; однакова продуктивність окремих ланок.

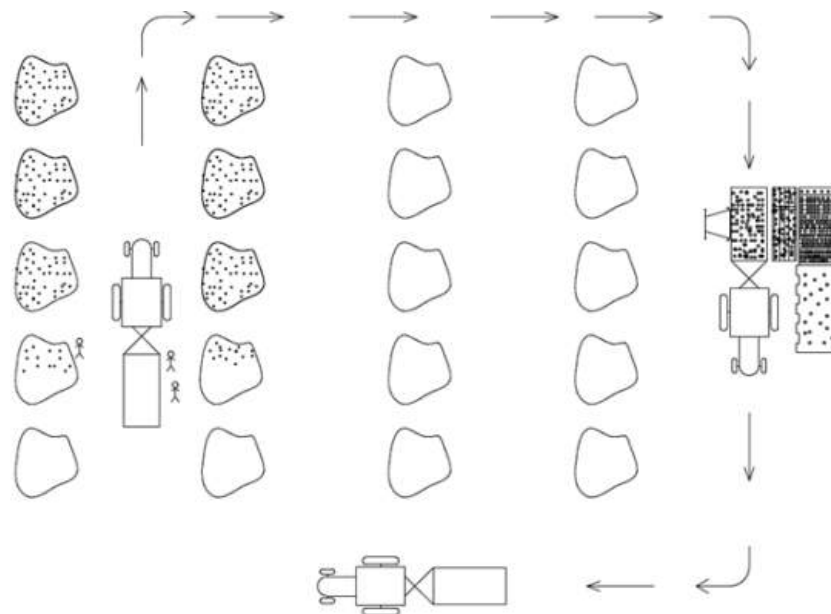


Рис. 1. Технологія збирання і безтарного транспортування плодів.

Таким умовам відповідає запропонована нами технологія внутрішньогосподарського транспортування плодів (рис. 1), яка передбачає збирання, транспортування і вивантаження плодів на лінію товарної обробки плодів в єдиному потоці. Для її виконання запропоновано використовувати контейнери-накопичувачі (транспортний засіб із спеціальним кузовом) і пристрій для розвантаження.

Формулювання мети досліджень

Метою дослідження є теоретично довести доцільність використання спеціальних контейнерів-накопичувачів для потокової технології збирання і транспортування плодів та обґрунтувати основні параметри контейнера-накопичувача, в тому числі його вантажопідйомність.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Суть технології така: контейнер-накопичувач являє собою одновісний причіп із спеціальним кузовом. В агрегаті з трактором заїждє в сад до місця збирання плодів. Повільно переміщуючись в міжряддях саду, контейнер-накопичувач завантажується яблуками бригадою працівників (15–20 чол.). Після наповнення кузова агрегат рухається до місця розвантаження, а на його місце подається інший агрегат з порожнім контейнеровозом-накопичувачем. Розвантаження проводиться на приймальний пристрій лінії товарної обробки плодів.

Така технологія відповідає усім основним вимогам потокової технології.

Теоретичними дослідженнями передбачається визначення основних параметрів транспортного засобу та його вантажопідйомності.

Однією із основних задач при створенні транспортних засобів є обґрунтування основних параметрів кузова.

Внутрішні розміри: довжина (L); ширина (B) і висота (h) визначаються оптимальною вантажністю, насипною вагою плодів та обмеженнями за габаритами. Оптимальна вантажопідйомність нами доведена в роботі [2].

За умови оптимальної вантажопідйомності Q_{on} об'єм кузова V_k складає:

$$V_k = Q_{on} k / \gamma, \quad (1)$$

де γ – насипна щільність плодів; k – коефіцієнт заповнення кузова.

Для визначення розмірів кузова враховано наступне:

- а) ширина кузова не перевищує ширини трактора;
- б) глибина кузова обмежена допустимими статичними і динамічними навантаженнями, що діють на нижні шари плодів.

Враховуючи наведене, довжина кузова визначається з умови

$$V_k = BLh,$$

звідки

$$L = \frac{V_k}{Bh},$$

або

$$L_k = \frac{Q_{on} k}{Bh \gamma}. \quad (2)$$

З приведених параметрів, які входять в (1) і (2) найбільш важливе значення має глибина кузова h .

Для її визначення розглянемо розподіл зусиль, які діють на плоди в кузові. Плоди укладаються навалом (насіпом), тому їх можна розглядати як зернисті тіла розпірної структури, до яких застосовуються окремі положення механіки зернистих середовищ.

Плоди, обмежені стінками кузова, розглядаємо як зернисте тіло з такими припущеннями:

1) плоди мають певну твердість і здатні передавати зусилля від одного до другого;

2) варіювання розмірів окремих плодів відносно середнього розміру носить випадковий характер, що дозволяє безперервно змінювати висоту шару плодів;

3) плоди в кузові розміщуються незалежним і випадковим чином і розподіляються в об'ємі тари статично рівномірно з середньою щільністю γ ;

4) розміри окремого плода значно менші об'єму кузова.

Для визначення зусиль, що діють на плоди в кузові, необхідно розглянути залежність їх складових від розмірів поперечного перерізу тари і коефіцієнта внутрішнього тертя плодів.

В механіці зернистих матеріалів для визначення вертикального тиску G на нижні шари від дії верхніх, можна використати аналітичну залежність, яка називається формулою Янсена [2].

Після деяких перетворень названа формула має вигляд:

$$G = \frac{\gamma R}{fn} \left(1 - e^{-\frac{fnh}{R}}\right), \quad (3)$$

де G – вертикальний тиск на глибині h ;

γ – щільність плодів;

R – гідравлічний радіус, що дорівнює відношенню площі горизонтального перерізу S до периметру стінок Π_0 ;

f – коефіцієнт внутрішнього тертя плодів;

n – коефіцієнт бокового тиску, який визначається відношенням горизонтальної складової до вертикальної.

Якщо відомо вертикальний тиск, можна знайти силу P , яка діє на шар плодів з боку шарів розташованих вище, тобто

$$P = GS. \quad (4)$$

Визначаємо статичні сили (P_{cm}), що діють на окремий плід:

$$P_{cm} = P/m, \quad (5)$$

де m – кількість плодів, які знаходяться в одному шарі.

Визначаємо кількість плодів, які припадають на одиницю площі поперечного перерізу тари (K^o):

$$K^o = m/s. \quad (6)$$

Середнє значення показника K^o для яблук у вигляді форми кулі ($D_{cp} = 60$ мм) дорівнює 276 шт/м².

Результати досліджень

Підставивши значення виразу (4) і (5) за умови, що

$$S/m = 1/K^o,$$

запишемо

$$P_{cm} = G/K^o.$$

Тоді, вираз для визначення статичних сил, які діють на окремий плід з боку шарів, які розташовані вище, набуває вигляду:

$$P_{cm} = \frac{\gamma R}{K^o fn} \left(1 - e^{-\frac{fnh}{R}}\right). \quad (7)$$

Із виразу (7) випливає, що статична сила, яка діє на кожний окремий плід, залежить насамперед від висоти шару плодів. Така залежність показана на рис. 2.

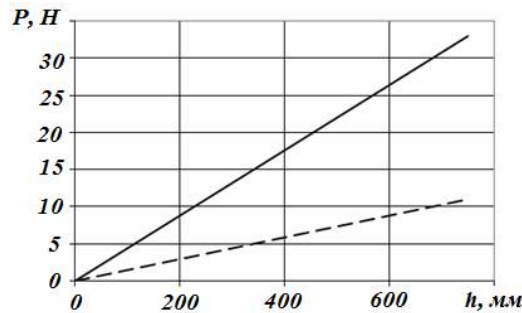


Рис. 2. Залежність сили P , що діє на плоди, від висоти шару плодів h : ___ - статична сила; _____ - сума статичних і динамічних сил.

Гідравлічний радіус суттєво впливає на величину статичних сил при малих площах поперечного перерізу тари. Із рис. 2 видно, якщо збільшити гідравлічний радіус до 0,2 м – статичні сили різко зростають. За умови $R < 0,2 > 0,35$ м збільшення статичних сил незначне, а коли $R > 0,35$, практично залишаються незмінними. Для існуючої великооб'ємної тари (контейнери) величина гідравлічного радіуса знаходиться в межах 0,22–0,3 м.

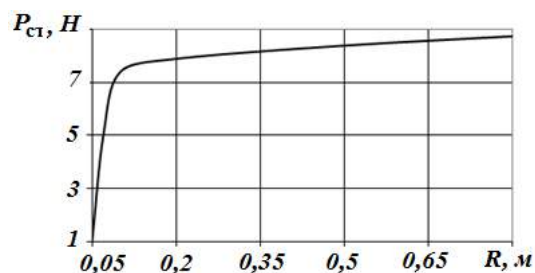


Рис. 3. Вплив гідравлічного радіуса тари на статичні навантаження.

Отже, якщо далі збільшувати площу поперечного перерізу тари, величина статичного зусилля на окремий плід буде залишатися практично незмінною.

Більшість плодів витримують без суттєвих пошкоджень м'якоти статичне навантаження, створене шаром плодів висотою 1 м і більше.

Небезпечним зусилля стискання плодів стає при динамічному його прикладанні. Для коректування глибини тари на динамічні навантаження, необхідно вибрати найбільш небезпечні коливання транспортних засобів в процесі перевезень плодів.

Допустимі навантаження такі, при яких плід пошкоджується і переходить із вищого товарного сорту в нижчий. Основним критерієм для визначення допустимих навантажень прийнята площа стискання, що дорівнює 1 см². Виходячи з цієї умови, допустиме навантаження при взаємодії яблук одне з одним, для більшості сортів з достатньою точністю, може бути прийнята 50 Н, а при стисканні плоскою жорсткою поверхнею – 55 Н [4]. Враховуючи час прикладання навантаження і кількості їх повторень, введемо коефіцієнт запасу рівним 1,8. Тоді допустиме навантаження дорівнює 30 Н.

Відомо, що повне навантаження, яке діє на плоди, буде дорівнювати сумі

статичних і динамічних навантажень

$$P = P_{cm} + P_d . \quad (8)$$

Динамічні навантаження стають на скільки більшими статичних, у скільки діючі прискорення перевищують прискорення вільного падіння, які досягають $1,5 - 2g$ [4]. Отже, вираз (8) можна записати у вигляді

$$P = P_{cm} (1 + \eta),$$

де η – коефіцієнт динамічності, який показує у скільки разів діючі прискорення перевищують прискорення вільного падіння. За найбільш несприятливих умов транспортування η досягає 2 [4].

Якщо $\eta = 2$, тоді повне навантаження в три рази більше статичного, що видно з рис. 2, а сумарна сила досягає величини 30 Н на глибині кузова 0,6 – 0,7 м. Оптимальною можна вважати глибину кузова 0,6 м.

Оптимальну вантажопідйомність контейнера-накопичувача з умови продуктивності роботи працівників в саду і продуктивності лінії товарної обробки. Продуктивність останньої повинна відповідати продуктивності групи працівників, що забезпечує можливість організації збирання плодів потоковим методом.

При обґрунтування вантажопідйомності транспортного засобу (контейнеровоза) необхідно враховувати продуктивність транспортного засобу W і прямі витрати C .

Продуктивність агрегата залежить від ряду факторів: відстані перевезень L , вантажопідйомності, часу навантаження і розвантаження, швидкості руху. Названі фактори взаємопов'язані, наприклад, оптимальна вантажопідйомність в значній мірі залежить від співвідношення продуктивності знімання плодів, завантаження їх в тару, транспортування і розвантаження їх на лінію товарної обробки.

Отже, продуктивність агрегату W за одну годину роботи при повному використанні вантажопідйомності можна записати так

$$W = \frac{Q_{оп}}{t_1 + t_2}, \quad (9)$$

де $Q_{оп}$ – вантажопідйомність контейнеровоза;

t_1 – час руху;

t_2 – час завантаження і розвантаження плодів.

Час руху залежить від відстані перевезень L і середньотехнічної швидкості руху V , яка враховує швидкість переміщення з вантажем і без вантажу

$$t_1 = \frac{2L}{V}. \quad (10)$$

Час завантаження контейнеровоза

$$t_3 = \frac{Q_{оп}}{W_{зб}}, \quad (11)$$

де $W_{зб}$ – продуктивність роботи збирачів плодів.

Час розвантаження контейнеровоза з плодами

$$t_4 = \frac{Q_{оп}}{W_{пто}}, \quad (12)$$

де $W_{пто}$ – продуктивність лінії товарної обробки плодів.

Тоді, час заповнення контейнеровоза і час розвантаження буде дорівнювати

$$t_5 = t_3 + t_4. \quad (13)$$

Після нескладних перетворень вираз (5) матиме вигляд

$$t_5 = \frac{Q_{оп}k}{W_{зб}}, \quad (14)$$

де k – коефіцієнт, який відповідає відношенню $\frac{W_{пто} + W_{пто}}{W_{пто}}$.

Підставивши у рівняння (8) значення часу руху, часу наповнення і

розвантаження із виразів (10) і (14) і, зробивши математичні перетворення, отримаємо формулу продуктивності транспортного агрегату з врахуванням усіх факторів, які характеризують процес збирання, транспортування і товарної обробки плодів

$$W = \frac{W_{\text{лто}} V Q_{\text{оп}}}{2LW_{\text{зб}} + kV Q_{\text{оп}}} \quad (15)$$

На рис. 4 наведений графік залежності продуктивності транспортного агрегата від його вантажопідйомності, з якого випливає, що зміна продуктивності має гіперболічний характер. При збільшенні вантажопідйомності зростання продуктивності зменшується, це обумовлено тим, що збільшується час завантаження і розвантаження контейнеровоза. Із збільшенням радіуса перевезень продуктивність також зменшується.

Залежність продуктивності агрегату W від швидкості руху V і продуктивності збирачів показані на рис. 4. Із збільшенням V і $W_{\text{зб}}$ продуктивність транспортного агрегату зростає, особливо при збільшенні $W_{\text{зб}}$. Таке явище буде характерно при збільшенні вантажопідйомності, але по мірі збільшення останньої затрати на виготовлення і експлуатацію контейнеровозів зростають.

Для визначення оптимальної вантажопідйомності контейнеровоза, коли в процесі експлуатації затрати будуть мінімальними, необхідно виявити її зв'язок від прямих і питомих витрат.

Відповідно до методики визначення економічної ефективності прями експлуатаційні витрати включають: заробітну плату працівників, відрахування на реновацію і капітальний ремонт, відрахування на поточний ремонт і ТО, вартість паливо-мастильних матеріалів та інші витрати.

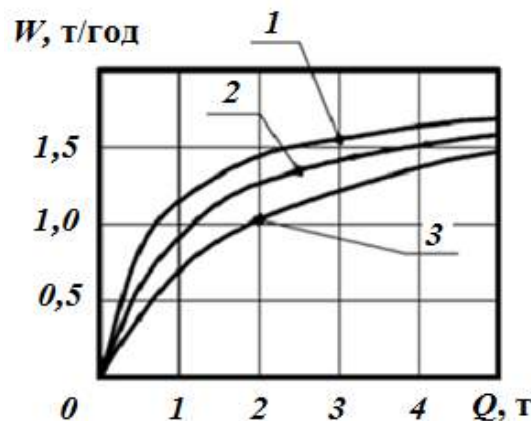


Рис. 4. Залежності продуктивності W транспортного агрегата від його вантажопідйомності Q і відстані перевезень L , за умови: $V = 15$ км/год, продуктивність роботи збирачів плодів $W_{\text{зб}} = 2$ т/год і продуктивність лінії товарної обробки $W_{\text{лто}} = 10$ т/год ($1 - L = 2$ км; $2 - L = 3$ км; $3 - L = 4$ км).

З урахуванням викладеного прями експлуатаційні витрати C зростають пропорційно в залежності від вантажопідйомності, що можна показати у вигляді:

$$C = a + b Q_{\text{оп}} \quad (16)$$

де a і b – коефіцієнти.

Питомі прями витрати U визначають, як відношення прямих витрат C і продуктивності агрегату W , тоді

$$U = \frac{(a + b Q_{\text{оп}})(2LW_{\text{зб}} + kV Q_{\text{оп}})}{W_{\text{лто}} V Q_{\text{оп}}} \quad (17)$$

Залежність питомих експлуатаційних витрат $\frac{C}{W}$ від вантажопідйомності контейнера-накопичувача Q показано на рис. 5.

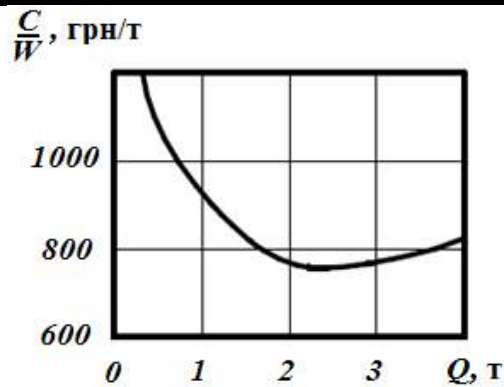


Рис. 5. Залежності питомих експлуатаційних витрат від вантажопідйомності контейнера-накопичувача: $L = 3$ км; $V = 15$ км/год; $W_{зб} = 2$ т/год.

Для того, щоб визначити вантажопідйомність контейнеровоза-накопичувача, яка відповідає мінімуму питомих прямих затрат необхідно продиференціювати вираз по $Q_{оп}$, в результаті отримаємо:

$$U_Q^1 = -\frac{1.6L}{V}Q^2 + \frac{bk}{W_{зб}} \quad (18)$$

Якщо прирівняти праву частину рівняння (18), отримаємо

$$Q_{оп} = \sqrt{\frac{1.6LW_{зб}}{bkV}}$$

За умови, якщо $L = 3$ км, $W_{зб} = 2$ т/год, $V = 15$ км/год і $K = 1,2$ – оптимальна вантажопідйомність контейнера-накопичувача 2,5 т.

Висновки

1. Для безтарного транспортування плодів розміри контейнера-накопичувача приймають з умови оптимальної вантажопідйомності, яка обумовлена продуктивністю роботи працівників на збирання плодів і продуктивністю лінії товарної обробки плодів.

2. Габаритні розміри кузова обмежені допустимими навантаженнями від дії верхніх шарів на нижні від дії вібрації, а також загальними транспортними вимогами.

Список використаних джерел

1. Vlăduț D.I., Biriș S., Vlăduț V., Cujbescu D., Ungureanu N., Găgeanu I. Verification of stress by FEM analysis·M-1 echanical testing of agricultural mobile aggregates couplig device. Inmateh – Agricultural Engineering. 2018. Vol. 54, no. 1/2018, P. 37–46.

2. Gheorghe G., Lates D., Oprea C., Baltatu C. Structural and modal analysis in solidworks of agricultural plow to choose vibration system at moldboard. Engineering for Rural Development. 2023. Vol. 22. P. 872–878. DOI: 10.22616/ERDev.2023.22.TF168.

3. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S. Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. 2019. Vol. 12 (61). No 1. P. 117–128. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10>.

4. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Rosamaha Yu.O., Blesnyuk O.V., Ohienko A.V. Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. INMATEH. Agricultural Engineering. 2019. Bucharest. Vol. 58. No 2. P. 137–146. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-58-15>.

5. Rogovskii I.L. Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11 (1). P. 155–162.
6. Rogovskii I.L. Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10(4). P. 145–150. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2019.04.145-150>.
7. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4(7(112)). P. 41–49.

References

1. Vlăduț D.I., Biriș S., Vlăduț V., Cujbescu D., Ungureanu N., Găgeanu I. (2018). Verification of stress by FEM analysis·M-1 mechanical testing of agricultural mobile aggregates couplig device. *Inmateh – Agricultural Engineering*. Vol. 54, no. 1/2018, P. 37–46.
2. Gheorghie G., Lates D., Oprea C., Baltatu C. (2023). Structural and modal analysis in solidworks of agricultural plow to choose vibration system at moldboard. *Engineering for Rural Development*. Vol. 22. P. 872–878. DOI: 10.22616/ERDev.2023.22.TF168.
3. Rogovskii I., Titova L., Trokhaniak V., Trokhaniak O., Stepanenko S. (2019). Experimental study on the process of grain cleaning in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. Vol. 12 (61). No 1. P. 117–128. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.10>.
4. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Rosamaha Yu.O., Blesnyuk O.V., Ohienko A.V. (2019). Engineering management of two-phase coulter systems of seeding machines for implementing precision farming technologies. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Vol. 58. No 2. P. 137–146. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-58-15>.
5. Rogovskii I.L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. Vol. 11 (1). P. 155–162.
6. Rogovskii I.L. (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. Vol. 10(4). P. 145–150. <https://doi.org/10.31548/machenergy.2019.04.145-150>.
7. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4(7(112)). P. 41–49.