



Механізація, електрифікація

УДК 631.356.4

© 2020

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕПАРАТОРА КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

В.М. Булгаков¹, В.В. Адамчук², З.В. Ружило³,
І.В. Головач⁴, Є.І. Ігнат'єв⁵

^{1, 2}доктори технічних наук, академіки НААН

^{3, 5}кандидати технічних наук

⁴доктор технічних наук

^{1, 3, 4}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

²Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства»

вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Васильківського р-ну Київської обл., 08631, Україна

⁵Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного
пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³ruzhilo@nubip.edu.ua,

⁴holovach.iv@gmail.com, ⁵yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua

ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0003-3582-8687,

⁴0000-0003-1387-4789, ⁵0000-0003-0315-1595

Надійшла 16.05.2020

Мета. Обґрунтувати раціональні конструктивні та кінематичні параметри нового очисника картопляного вороху спірального типу на основі результатів багатофакторного польового експериментального дослідження. **Методи.** Для обробки та аналізу експериментальних досліджень застосовано методи кореляційного й регресійного аналізів, а також методи побудови номограм. **Результати.** Розроблено нову конструкцію очисника картопляного вороху, яка складається з 3-х консольно розташованих приводних спіралей, що забезпечує активну очисну поверхню, куди подається викопаний ворох. При цьому можна змінювати кут нахилу очисної поверхні до горизонту, що забезпечує різну інтенсивність сепарації домішок і гарантує рух бульб у напрямку вивантажувального транспортера. Все це також сприяє кращому розосередженню купи вороху по робочій поверхні очисника, більш інтенсивному руйнуванню ґрунтових грудок, а отже, поліпшенню просівання і зменшенню забивання очисних спіралей. Проведені нами у виробничих польових умовах експериментальні дослідження показали, що очищення бульб картоплі від домішок таким очисником відбувається

за рахунок інтенсивного переміщення вороху витками консольно закріплених очисних спіральних пружин. Очисні спіральні пружини не тільки обертаються із заданою кутовою швидкістю, а й одночасно здійснюють коливальні рухи своїх консольних кінців, що виникають за рахунок прогину їх поздовжніх осей під дією ваги вороху в робочій зоні очисника. Висновки. За даними польових експериментальних досліджень побудовано модель повнофакторного експерименту, статистична обробка результатів якого здійснена з використанням програми Microsoft Excel. Побудовано графічні залежності, що дають можливість вибирати раціональні конструктивні та кінематичні параметри очисників картоплі спірального типу при проектуванні й розробці нових картоплезбиральних комбайнів.

Ключові слова: бульби картоплі, домішки, експерименти, розрахунки на ПК, параметри.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk202007-08>

Однією з основних проблем при збиранні картоплі є очищення бульб від ґрунтових домішок і рослинних залишків, а також зменшення їх втрат і пошкоджень [1–4]. Вирішення цього питання не тільки підвищить якість одержуваної продукції, а й виключить вивіз із полів родючого ґрунту. Тому розробка очисників картоплі від домішок безпосередньо після викопування із ґрунту бульбоносного шару (бульб картоплі, ґрунтових домішок, а також міцних ґрунтових утворень, кореневищ, залишків гички, каменів тощо) є актуальною науково-технічною проблемою у галузі агроінженерії [5–8].

Нами розроблено нову конструкцію очисника картопляного вороху, що складається із 3-х консольно розташованих приводних спіралей, які утворюють активну очисну поверхню, куди подається викопаний ворох (рис. 1) [9]. При цьому є можливість змінювати кут нахилу цієї поверхні, що забезпечує інтенсивність сепарації домішок і гарантує рух бульб у напрямку вивантажувального елеватора. Все це також сприяє кращому розосередженню вороху по робочій поверхні очисника, більш інтенсивному руйнуванню ґрунтових грудок, а отже, поліпшенню просівання ґрунтових і рослинних домішок униз за межі очисника і зменшенню забивання очисних спіралей. У підсумку продуктивність очисника картоплі підвищується.

Конструктивно спіральний очисник картоплі від домішок складається з кількох

(у цьому випадку 3-х) приводних очисних спіральних вальців 1, виконаних у вигляді консольно встановлених спіральних пружин, які утворюють робочу очисну поверхню. З одного боку до цієї очисної поверхні підведений завантажувальний елеватор 2, а з протилежного боку розташований вивантажувальний елеватор 3. Крім цього, верхня частина очисної поверхні має закріплений (на рамі) плоский захисний екран 4, а збоку вивантажувального елеватора 3 закріплений плоский захисний екран 5, які запобігають втраті бульб картоплі. Вальці 1 складаються зі встановлених консольно очисних спіралей, що мають вільні кінці 6. Самі спіралі встановлені на маточинах 7, які з'єднані із приводними валами 8.

Уся очисна поверхня, утворена спіралями вальців 1, має можливість змінювати своє положення, тобто кут нахилу до горизонту. Обертання 3-х очисних спіралей вальців 1, що забезпечується приводними валами 8, може здійснюватись із різними кутовими швидкостями, в результаті чого витки спіралей матимуть різні колові швидкості. Напрямок обертального руху очисних спіралей вальців 1 здійснюється в один бік. Самі очисні спіралі вальців 1 встановлено зі взаємним перекриттям, а їх вільні кінці 6 роблять коливальні рухи під дією змінного завантаження картопляного вороху, що подається завантажувальним елеватором 2.

Таке конструктивне рішення забезпечує значні за площею просвіти на очисній

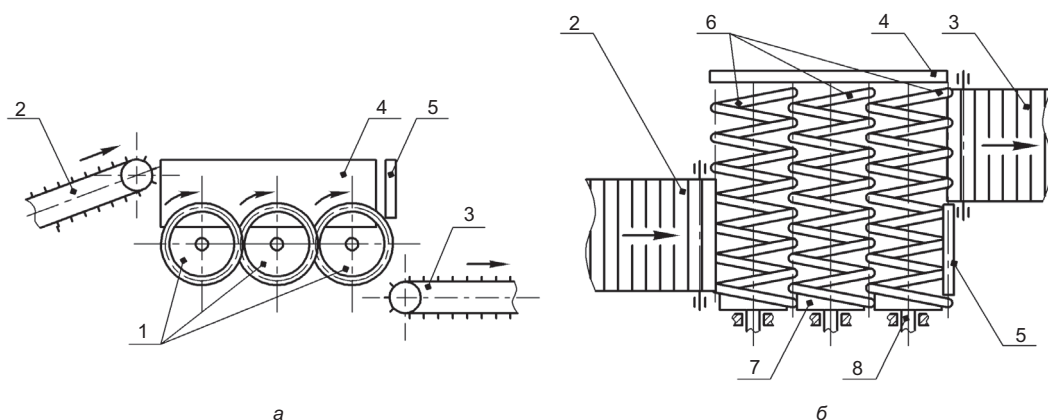


Рис. 1. Конструктивна схема очисника картоплі спірального типу: а — вид збоку; б — вид зверху; 1 — валець, що складається із приводних очисних спіралей; 2 — завантажувальний елеватор; 3 — вивантажувальний елеватор; 4, 5 — захисні екрани; 6 — консольні кінці очисних спіралей; 7 — закріплені кінці спіралей; 8 — вали, які приводять спіралі в обертальний рух

поверхні, утворені проміжками між витками самих спіралей і між сусідніми спіралями. Це збільшує площу, через яку відбувається сепарація домішок за межі очисника.

До переваг цієї конструкції варто віднести відсутність валів усередині кожної очисної спіралі, що забезпечує безперешкодний прохід униз усіх домішок, а також запобігає небажаному накручуванню рослинних решток на витки. Порожнистість внутрішніх просторів усередині кожної спіральної пружини дає можливість підвищити здатність примусово транспортувати всю масу ґрунтових і рослинних домішок до вихідного (консольного) кінця кожної спіралі й скинути її через вільний торець на поверхню поля.

Для запобігання налипанню ґрунту на очисні спіралі та залипанню просвітів між витками (під час збирання врожаю у вологому ґрунті) спіральні пружини встановлено зі взаємним перекриттям, при якому витки однієї спіралі частково заходять у просвіти між витками іншої. Кожна спіраль має ексцентриситет, що дає їй можливість здійснювати примусові коливальні рухи, які сприяють перемішуванню купи вороху [12].

Мета досліджень — обґрунтувати раціональні конструктивні та кінематичні параметри нового очисника картопляного вороху спірального типу на основі результатів

багатофакторного польового експериментального дослідження.

Методи досліджень. Для обробки та аналізу експериментальних досліджень застосовано методи кореляційного й регресійного аналізів, а також методи побудови номограм.

Результати досліджень. Згідно з проведеними раніше експериментальними дослідженнями [10] з вивчення впливу основних конструктивних і кінематичних параметрів очисника картоплі спірального типу від домішок на відсоток просіяного ґрунту встановлено, що до параметрів, які можуть викликати найбільший інтерес, належать: вплив кута α нахилу спіралей очисника до горизонту, колова швидкість V обертового руху спіралей, ексцентриситет закріплення спіралей ε і подача Q на очисні спіралі матеріалу, тобто вороху викопаних із ґрунту бульб картоплі. Такі конструктивні параметри очисника, як діаметр спіралі ($D_s=133$ мм), кут підйому гвинтової лінії спіралі ($\gamma_s=12^\circ$), діаметр прутків спіралей ($d_s=11$ мм) визначені нами теоретично у попередніх дослідженнях [11] і в цьому випадку прийняті як постійні величини.

Для проведення дослідження був реалізований дрібнофакторний експеримент виду 2^{4-1} з 3-разовою повторністю кожного [13]. Модель, що приймалася для опису

впливу факторів на параметр оптимізації, була лінійною функцією такого вигляду:

$$y = b_0 + b_1\alpha + b_2V + b_3\varepsilon + b_4Q, \quad (1)$$

де $b_0 \dots b_4$ — коефіцієнти регресії.

Після польових експериментальних досліджень одержані дані обробляли за допомогою прикладної програми Microsoft Excel 2003. Результати обробки експериментальних даних представлено у вигляді рівняння регресії, що є математичною моделлю процесу та зв'язує параметри очисного робочого органа з показниками його роботи [15].

Для основного показника — відсотка просіяного ґрунту Y_1 , рівняння регресії має такий вигляд:

$$Y_1 = 118,396 + 0,25125\alpha - 12,2768V + 0,5325\varepsilon - 0,3175Q, \quad (2)$$

при множинному коефіцієнті кореляції $R = 0,6883634$, R -квадраті $= 0,780809$, стандартній похибці $4,556817$ і 8 дослідях.

Зв'язок між параметром оптимізації, конструктивними й кінематичними параметрами (факторами) характеризується коефіцієнтом кореляції, який для кута α нахилу очисника картоплі до горизонту становить $-0,421541$, для колової швидкості V спіралей — $0,57674$, для ексцентриситету ε закріплення спіралей — $0,4467$, для подачі Q — $-0,26635$.

Проаналізувавши результати обробки експериментальних даних, можна зробити висновок, що найбільший вплив на відсоток Y_1 просіяного ґрунту має колова швидкість V обертання спіралей, трохи менший — ексцентриситет ε і кут α нахилу очисника картоплі до горизонту. Найменший (зі слабким зв'язком) має показник «подача матеріалу Q ». При цьому знак «мінус» перед коефіцієнтом вказує, що зі зростанням цього фактора параметр оптимізації зменшується. Такий вплив мають кут α нахилу очисника картоплі до горизонту й подача матеріалу Q .

Тому в подальших лабораторних експериментальних дослідженнях вивчали вплив колової швидкості V спіралей і кута α нахилу очисника картоплі на відсоток Y_1 просіяного ґрунту й інтенсивність сепарації при постійних значеннях ексцентриситету ε закріплення спіралей і подачі Q матеріалу на спіральний очисник картоплі. Для

цього був реалізований повнофакторний експеримент 3^2 з додатковими 4-ма точками з усталеною подачею маси $20 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$ і закріпленням спіралей з ексцентриситетом 7 мм . Статистична обробка отриманих результатів здійснювалась у Microsoft Excel 2003. За отриманими експериментальними даними проводився багатовимірний регресійний аналіз із використанням різних видів функцій [14].

Необхідну функцію, за якою можна було б провести багатовимірний кореляційний аналіз і отримати адекватну математичну модель, вибрано шляхом порівняння коефіцієнтів D множинної детермінації. Перевага надавалась функції із найбільшим значенням цього коефіцієнта, і ним був багатовимірний поліномом II ступеня.

Для цього випадку (тобто для багатовимірного полінома II ступеня) проведено регресійний аналіз для обраного виду функції (таблиця) при 2-х факторах і 6-ти змінних, за рівня ймовірності $P = 0,95$ (досить високий ступінь відтворюваності) і $t_a = 2,176$ (критерій Ст'юдента) — для полінома II ступеня.

Після виключення незначущого фактора рівняння регресії має такий вигляд:

$$Y_1 = 66,9523 + 34,7557 \cdot V - 0,0227 \cdot \alpha^2 + 0,3868 \cdot \alpha \cdot V - 11,566691 \cdot V^2, \quad (3)$$

при $D = 0,989$, $R = 0,994$, $s = 0,465$.

На основі отриманого рівняння регресії за допомогою ПК і прикладної програми MathCad побудована поверхня відгуку залежності відсотка просіяного ґрунту Y_1 від кута α нахилу очисника картоплі й колової швидкості V обертання його спіралей (рис. 2).

Область екстремуму вивчалася методом 2-вимірних перетинів. Для цього було про диференційоване рівняння регресії відповідно за кутом α нахилу очисника картоплі до горизонту й коловою швидкістю V його спіралей.

Отримані частинні похідні були прирівняні до нуля, при цьому отримана така система лінійних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY_1}{d\alpha} &= -0,0454\alpha + 0,3868V = 0; \\ \frac{dY_1}{dV} &= 34,7557 + 0,3868\alpha - 23,13338V = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Результати регресійного аналізу

Змінна	Кореляція	Коефіцієнт регресії лінеаризований	Статистична похибка коефіцієнта регресії	t_0	Коефіцієнт еластичності	Значущість коефіцієнта регресії
Залежна змінна						
Y1		+67,2785				
Незалежні змінні						
α	+0,719	-0,1397	+0,18927	-0,74	-0,01	незначущий
V	-0,555	+35,0949	+15,72361	+2,23	+0,79	значущий
α^2	+0,578	-0,0220	+0,00293	-7,51	-0,04	значущий
$\alpha \cdot V$	+0,657	+0,4466	+0,08564	+5,21	+0,10	значущий
V^2	-0,563	-11,7910	+3,75254	-3,14	-0,56	значущий

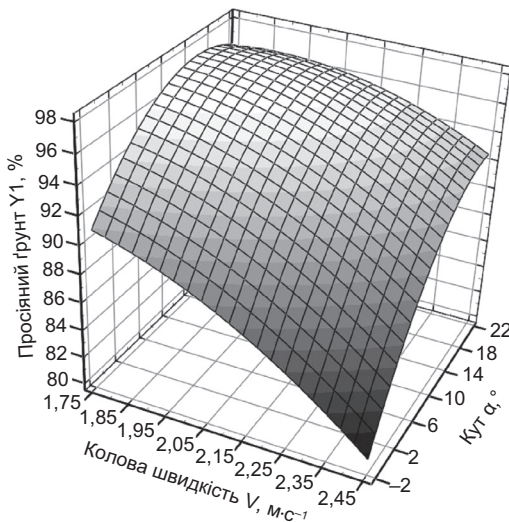


Рис. 2. Поверхня відгуку впливу кута α нахилу очисника картоплі до горизонту й колової швидкості V обертального руху спіралі на відсоток $Y1$ просіяного ґрунту

Розв'язавши систему рівнянь (4), визначено координати ($\alpha \approx 14,82^\circ$, $V \approx 1,74 \text{ м·с}^{-1}$) точки поверхні відгуку, у якій функція $Y1$ досягає свого максимального значення $Y1 \approx 97,4\%$.

Рівняння регресії зведено до канонічного вигляду [16]. Для цього записано необхідне характеристичне рівняння:

$$K^2 + 11,5894K + 0,1659 = 0. \quad (5)$$

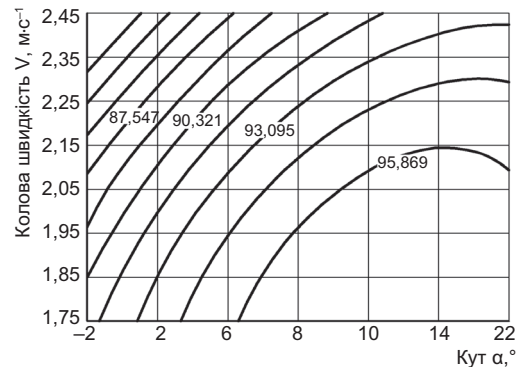


Рис. 3. Двовимірний перетин поверхні відгуку впливу кута α нахилу очисника картоплі до горизонту й колової швидкості V обертального руху спіралі на відсоток $Y1$ просіяного ґрунту

У результаті розв'язання цього квадратного рівняння отримано, що $K_\alpha = -0,0144$, $K_V = -11,5751$.

Оскільки $|K_\alpha| < |K_V|$, то контурні криві (еліпси), які відповідають 2-вимірним перетинам поверхні відгуку, витягнуті вздовж осі α . Осі цих еліпсів повернені на кут $\beta = 0,96 \text{ рад.}$ (55°) щодо осі V . Оскільки розв'язки характеристичного рівняння є від'ємними, то центр еліпсів — це точка максимуму (рис. 3).

Отже, на основі лабораторних експериментальних досліджень був вивчений вплив таких параметрів спірального сепаратора

ратора, як кут α його нахилу до горизонту, колова швидкість V спіралей, ексцентриситет ε закріплення спіралей і подача матеріалу Q на відсоток Y_1 просіяного ґрунту.

Такі результати дали можливість отримати рівняння регресії згідно зі статистичними даними, які адекватно описуються, і всі процеси є відтворюваними. Досить високі значення коефіцієнта множинної кореляції свідчать про те, що підібрані нами математичні залежності (вид функцій) узгоджуються з характером експериментальних залежностей.

Можна дійти висновку, що отримані рівняння регресії придатні для точного визначення параметра оптимізації й оптимальних значень досліджуваних факторів. На основі рівнянь регресії і визначених оптимальних значень кінематичних параметрів побудована поверхня відгуку впливу подачі матеріалу Q та ексцентриситету ε закріплення спіралі очисника картоплі на відсоток Y_1 просіяного ґрунту при $\alpha=14,85^\circ$ та $V=1,74 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, що має вигляд, показаний на рис. 4.

Отримані емпіричні та графічні залежності, що мають високий рівень кореляції з експериментальними даними, дають можливість повною мірою використовувати результати досліджень для визначення

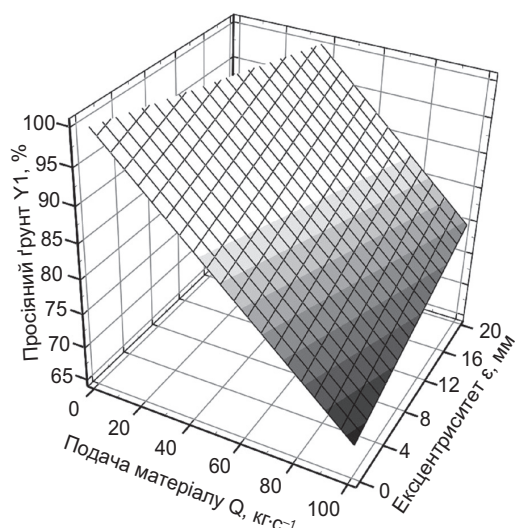


Рис. 4. Поверхня відгуку впливу подачі матеріалу Q та ексцентриситету ε закріплення спіралі очисника картоплі на відсоток Y_1 просіяного ґрунту при $\alpha=14,85^\circ$ та $V=1,74 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$

оптимальних параметрів спіральних сепараторів вороху коренебульбоплодів у нових конструкціях очисних машин.

Висновки

Нами розроблена нова конструкція очисника картоплі від домішок з активною очисною поверхнею, утвореною приводними спіралями з консольними кінцями, взаємним ексцентриситетом закріплення й можливістю зміни кута нахилу.

За даними польових експериментальних досліджень побудовано модель повнофакторного експерименту, статистична обробка результатів якого дала можливість

провести з використанням прикладної програми Microsoft Excel кореляційний і регресійний аналізи отриманих даних.

Згідно з проведеним дослідженням отримано залежності, за якими визначено раціональні конструктивні та кінематичні параметри очисника картоплі спірального типу від домішок, які можна використати при проектуванні та розробці нових картоплезбиральних комбайнів.

Bulgakov V.¹, Adamchuk V.², Ruzhylo Z.³, Holovach I.⁴, Ihnatiev Ye.⁵

^{1,3,4}National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine, ²NSC «Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture», 11 Vokzalna Str., Hlevakha township, Vasylykiv district, Kyiv oblast, 08631, Ukraine, ⁵Tavria State Agrotechnological University named after Dmytro Motornyi, 18B

Khmelnyskoho Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, 72312, Ukraine; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³ruzhylo@nubip.edu.ua, ⁴holovach.iv@gmail.com, ⁵yevhen.ihnatiev@tsatu.edu.ua; ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0003-3582-8687, ⁴0000-0003-1387-4789, ⁵0000-0003-0315-1595

Experimental investigation and justification of the parameters of the separator of potato heap

Goal. To justify the rational constructive and kinematic parameters of the new cleaner of potato heap of spiral type based on the results of multi-factor experimental field studies. **Methods.** Methods of correlation and regression analyses and the methods of construction of nomograms were applied for processing and analysis of experimental research. **Results.** A new design is developed of a cleaner of potato heap, which consists of 3 console-located drive coils. It provides an active cleaning surface for the dug heap. It is possible to change the angle of the inclination of the cleaning surface to the horizon, which provides a different intensity of separation of impurities and ensures the movement of tubers in the direction of the conveyor belt. That also contributes to a better dispersal of the heap at the working surface of the cleaner, more intensive destruction of soil lumps, and consequently, to improve screening and reduce clogging of the cleaning coils. An experimental

study in the production conditions showed that cleaning of potato tubers from impurities was due to the intensive movement of the heap coils of cantilevered cleaning coil springs. Cleaning coil springs rotate not only with a given angular velocity, but at the same time oscillate their console ends due to the deflection of the longitudinal axis under the weight of the heap in the working area of the cleaner. **Conclusions.** The model of monofactorial experiment is built according to the field experimental studies, statistical processing of the results of which is implemented using Microsoft Excel. Graphic dependencies are built, allowing us to choose rational constructive and kinematic parameters of potato cleaners of spiral type at designing and developing new potato harvesters.

Key words: potato tubers, impurities, experiments, calculations on the PC, parameters.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202007-08>

Бібліографія

1. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. Vol. 18. P. 304–314.
2. Wei H., Wang D., Lian W., Shao S., Yang X., Huang X. Development of 4UFD-1400 Type Potato Combine Harvester. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2013. V. 29 (1). P. 11–17.
3. Ichiki H., Nguyen Van N., Yoshinaga K. Stone-cloth separation and its application to potato cultivation in Hokkaido. *Biooriented Technology Research Advancement Institution, Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2013. V. 6, Is. 2. P. 77–85. doi: 16/s1881-8366(13)80030-4
4. Грушецкий С., Фирман Ю. Исследование и обоснование параметров лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным сепаратором картофельного вороха. *MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture*. 2015. V. 17, № 1. P. 17–26.
5. Aniket U., Dongre, Battase R., Dudhale S., Patil V. R., Chavan D. Development of potato harvesting model. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. V. 4. P. 1567–1570.
6. Feng B., Sun W., Shi L., Sun B., Zhang T., Wu J. Determination of restitution coefficient of potato tubers collision in harvest and analysis of its influence factors. *Transactions of the chinese society of agricultural engineering*. 2017. V. 33 (13). P. 50–57.
7. Sibirev A., Aksenov A., Dorokhov A., Ponomare A. Comparative study of force action of harvester work tools on potato tubers. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. V. 65 (3). P. 85–90. doi: 10.17221/96/2018-RAE
8. Khamaletdinov R.R., Martynov V., Mudariso S., Gabitov I., Khasanov E., Pervushin A. Substantiation of rational parameters of the root crops separator with a rotating inner separation surface. *Journal of Agricultural Engineering*. 2019. doi: 10.4081/jae.2019.997.
9. Пат. № 43907 Україна, МПК (2006.01) A 01 D 33/08. Очистник вороху коренебульбоплодів від домішок. В.М. Булгаков, П.Ю. Зиков, та ін.; заявник і патентовласник Національний аграрний університет. № u98073513. Заявл. 03.07.1998. Опубл. 15.01.2002. 2 с.
10. Bulgakov V., Nikolaenko S., Adamchuk V., Ruzhylo Z., Olt J. Theory of retaining potato bodies during operation of spiral separator. *Agronomy Research*. 2018. V. 16, № 1. P. 41–51.
11. Bulgakov V., Pascuzzi S., Nikolaenko S., Santoro F., Anifantis A. Sotirios, Olt J. Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. *Agronomy Research*. 2019. V. 17, № 1. P. 33–38.
12. Klindtworth M. Potato Technology. *Jahrbuch Agritechnik (Frerichs L. Edit.)* 2015. P. 1–12.
13. Мельников С. В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 168 с.
14. Василенко П.М., Позгорель Л.В. Основы научных исследований. Киев: Высшая школа, 1985. 266 с.
15. Надикто В.Т. Основы научных исследований. Херсон, 2017. 268 с.
16. Thornley J.H.M., France, J. Mathematical models in agriculture: Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. *Cabi*. 2007. 906 p.