



УДК 631.31

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-2-5

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТА

Гулько Ірина Василівна, к.т.н., професор
Бурлака Сергій Андрійович, Ph.D., старший викладач
Вінницький національний аграрний університет

Iryna Gunko, Ph.D., Professor
Serhiy Burlaka, Ph.D., Senior lecturer
Vinnytsia National Agrarian University

Аналіз інструментів для безобробного та поверхневого обробітку ґрунту показує, що на ринку сільськогосподарської техніки бракує універсальних агрегатів, які можуть надійно та ефективно виконувати обидва види обробітку ґрунту однією машиною. Для оцінки обґрунтованості одиначної базової моделі були проведені польові дослідження, під час яких визначено ключові агрономічні показники якості обробітку ґрунту. Дослідження показали, що швидкість безобробітку ґрунту перевищує 6,5 км/год, а ступінь розтріскування ґрунту – понад 80%. При дрібному обробітку ґрунту на глибину до 12 см при робочих швидкостях понад 7,0 км/год. Використання додаткових робочих органів дозволить сформуванню на базі базової моделі агрегату більш вузькі варіанти для конкретного автомобіля.

Оптимальні конструктивні параметри пропонованого орного агрегату, крім ширини плуга 4,5 м, включають котки такої ж ширини для вирівнювання поверхні плуга та ємність бункера для добрив 4 м³. Технічні параметри в процесі: глибина плуга $\alpha = 0,2$ м, коефіцієнт опору ґрунту $K_m = 30$ кН/м², робоча площа $L_p = 1000$ м. Згідно з науково-обґрунтованою системою землеробства, після оранки попередників озимі культури потрібно лише орати, а комбінований поверхневий обробіток зменшить урожайність.

Представлено енергетичну модель функціонування агропідрозділу. Дослідження показали, що шляхом оптимізації співвідношення ваги трактора до потужності двигуна можна підвищити продуктивність сільськогосподарських агрегатів. Для обробітку стерні з нормальною вологістю 8 км/год, з допустимим ковзанням 10% оптимальними параметрами для колісного трактора класу 1,4 будуть робоча маса $m = 4790$ кг і потужність двигуна $N = 69,0$ кВт. У цьому випадку тяга буде відповідати 2 класу тяги.

Ключові слова: ґрунт, агрегат, ґрунтообробка, обробка, модель, показники, обробіток
Ф. 12. Рис. 4. Літ. 15.

1. Постановка проблеми

Сучасні технології вирощування польових сільськогосподарських культур, як і раніше, відрізняються високою енергоємністю та витратами [1 – 4] ще з низькими темпами вдосконалення конструктивно-технологічних схем машин і агрегатів, здатних докорінно замінити застарілі технології [5]. Нові машини [6, 7] та їх ефективну експлуатацію [8] вигідно вдосконалюють в процесі роботи та підвищувати його якість, що відбивається на підвищенні врожайності та зниження витрат. Одним з ефективних напрямків удосконалення сільського господарства є моделювання та оптимізація виробничих процесів [9]. Вони дозволяють з меншою трудомісткістю знайти оптимальне рішення у покращенні конструкцій застарілих машин.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ґрунтообробні знаряддя, як і інші мобільні сільськогосподарські агрегати, працюють в умовах, що змінюються зовнішніми впливами які обумовлені численними та різноманітними факторами [10]. Такими факторами є: нерівності поверхні поля, фізико-механічні властивості ґрунту тощо. Вплив різних факторів позначається на нерівномірності завантаження тракторів та на показниках якості роботи, а також на енергетичних витратах. На нерівномірність тягових опорів і технологічні показники роботи агрегатів істотно впливає швидкість руху.

**3. Мета досліджень**

Ціль нашої статті – оптимізувати робочий процес комплексного орного агрегату для підвищення його продуктивності та зниження енергоємності.

4. Виклад основного матеріалу

Результати досліджень показують, що функціонування ґрунтообробного агрегату можна подати у вигляді моделі, представленої на рис. 1.

Як вхідна величина в даній моделі пропонується змінна випадкова величина K_y , що характеризує оброблюване середовище (ґрунт). Вона включає в себе параметри ґрунту, що впливають на тягово-зчіпні властивості трактора і опір робочої машини: питомий опір, щільність додавання, несуча здатність, вологість, агрофон, фракційний склад тощо.

Як керуючі впливи прийняті номінальна потужність двигуна N_K , експлуатаційна маса трактора m_e , оптимальна ширина захоплення ґрунтообробного агрегату B_{opt} і коефіцієнт зчеплення рушіїв з ґрунтом $\varphi_{зч}$.

Функціонування системи контролюється впливами у вигляді обмежень: за якістю роботи P_K , допустимим буксування рушіїв $\delta_{доп}$, максимальним тиском на ґрунт q_{max} , оптимальною робочою швидкістю v_{opt} та оптимальним завантаженням трактора ζ_{opt} .

Вихідним параметром у цьому випадку є питома (на гектар) витрата палива $q_{пв}$.

Критеріальний показник (функція мети) у загальному виразі має вигляд:

$$q_{пв} = f(N_H, W) \rightarrow \min \quad (1)$$

Тобто, витрата палива залежить від номінальної потужності двигуна та продуктивності агрегату і прагне до мінімуму.

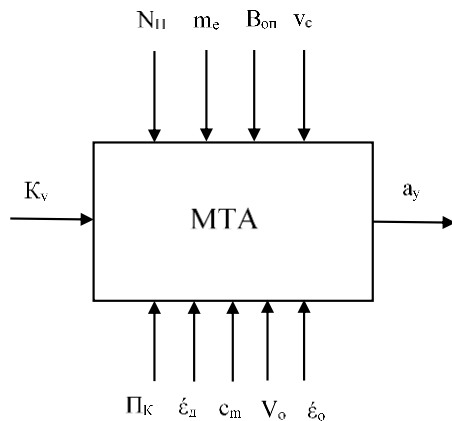


Рис. 1. Інформаційна модель функціонування ґрунтообробного агрегату

Математична модель функціонування ґрунтообробного агрегату розроблена на основі методики побудови потенційних експлуатаційних характеристик МТА [10].

Методика побудови потенційних експлуатаційних характеристик (ПЕХ) зводиться до визначення теоретичної продуктивності агрегату W для можливих поєднань ширини захвату B_p , робочої швидкості v_p опору робочої машини q та тягового зусилля $P_{кр}$ за максимальної тягової потужності трактора N .

Потужність двигуна, необхідну для подолання опору руху та самопересування трактора, з урахуванням допустимого буксування та оптимальної робочої швидкості, визначаємо за залежністю:

$$N_H = \frac{G_e v_o \varphi_H}{\epsilon_N \eta_{mf} (1 - \delta_d)} \quad (2)$$

де ϵ_N – коефіцієнт завантаження двигуна; $\epsilon_N = 0,9$; φ_H – номінальний коефіцієнт використання тягового зусилля; G_e – експлуатаційна вага трактора, кН; δ_d – допустиме буксування рушіїв; η_{mf} – ккд, що враховує втрати на перекочування і механічні втрати в трансмісії.

$$\eta_{mf} = \frac{K \varphi_{кр}}{C + \varphi_{кр}} \quad (3)$$

де K , C – коефіцієнти, що враховують втрати на перекочування і механічні втрати.

На важких роботах (оранка, дискування), враховуючи значення буксування рушіїв, колісні трактори необхідно балансувати до максимально можливого рівня. Цей рівень визначається з урахуванням показника U (кН/м), який є вагою трактора на опорній вісі $U = 95$ кН/м.

Чиста продуктивність агрегату за час роботи:

$$W = \frac{P_{кр}(v) v_p \xi_k \xi_v}{\gamma_{qv} k a_p} \quad (4)$$

де $P_{кр}$ – тягове зусилля трактора, кН; ξ_k – коефіцієнт, що враховує ґрунтові умови; ξ_v – коефіцієнт, що враховує використання тягового зусилля в залежності від швидкості;



γ_{qv} – коефіцієнт, що враховує величину впливу швидкості на тяговий опір агрегату; k – питомий опір ґрунту, Н/см²; a_p – глибина обробки, см.

Вихідними даними для побудови ПЕХ є потенційні тягові характеристики тракторів, які представляють собою розрахункові чи досвідчені залежності робочої швидкості v_p від тягового зусилля P_{kp} при максимальній гаковій потужності $N_{kp\ max}$ для різних типів тракторів на типових агрофонах [11].

Для побудови потенційних тягових характеристик тракторів з різними поєднаннями експлуатаційної маси та потужності двигуна при різному коефіцієнті зчеплення необхідно встановити залежність $v_p(P_{kp})$ розрахунковим шляхом. Для цього скористалися методикою побудови потенційної тягової характеристики трактора.

Спочатку визначили залежність буксування двигунів трактора від коефіцієнта використання зчіпної ваги:

$$\delta = \frac{1}{b} \ln \frac{a}{\varphi_{kp\ max} - \varphi_{kp}} \quad (5)$$

δ – буксирувальний рух; $\varphi_{kp\ max}, \varphi_{kp}$ – коефіцієнт використання зчіпної ваги і його максимальне значення; a, b – емпіричні коефіцієнти.

Для дослідження впливу на коефіцієнт зчеплення рушія з ґрунтом $\varphi_{kp\ max}$ – визначається із співвідношення.

$$\varphi_{kp\ max} = \varphi_{max} - f \quad (6)$$

де φ_{max} – максимальний коефіцієнт зчеплення для даного трактора в конкретних умовах; f – коефіцієнт опору перекочування трактора.

Коефіцієнт φ_{kp} визначається із співвідношення.

$$\varphi_{kp} = \frac{P_{kp}}{G_{зв}} \quad (7)$$

де $G_{зв}$ – зчіпна вага трактора, кН.

Для визначення φ_{kp} задались значеннями P_{kp} від $P_{kp}^0 = 0$ до P_H з кроком $\Delta P_{kp} = 0,2$ кН. Номінальне тягове зусилля трактора визначається з формули:

$$P_H = \varphi_H G_e \quad (8)$$

де G_e – експлуатаційна вага трактора, кН.

Значення робочої швидкості v_p , відповідає значенням тягового зусилля $P_{kp}^0 \leq P_{kp} \leq P_H$, визначають із залежності.

$$v_p = \frac{3,6 N_H K (1 - \delta)}{G_{зв} (C + \varphi_{kp})} \quad (9)$$

Потім значення P_{kp} і v_p апроксимують по залежності:

$$P_{kp} = f(v_p) \quad (10)$$

Поліном другої степені:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (11)$$

Значення W розраховують з виразу (4). Далі визначається витрата палива:

$$q_{п} = \frac{G_m}{W_T} \quad (12)$$

де G_m – годинна витрата палива при робочому ході, кг/год.

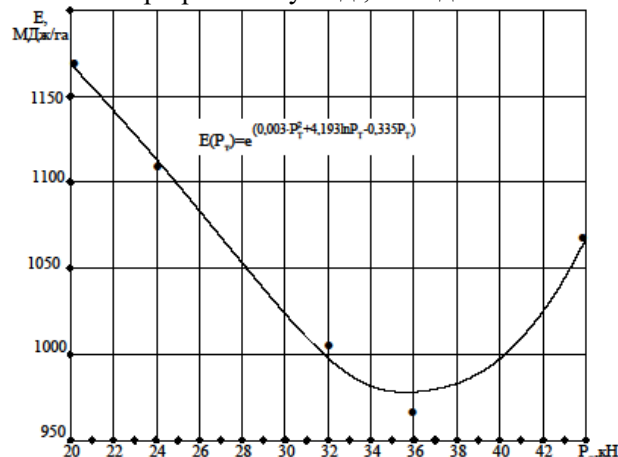


Рис. 2. Залежність сукупних витрат енергії E від величини тягового зусилля трактора P_m під час роботи орного агрегату



В результаті отримано дані про вплив зміни маси трактора, потужності двигуна та коефіцієнта зчеплення на продуктивність агрегату та витрата палива [13].

На підставі розв'язання задачі отримано залежність критерію оптимізації E від параметрів агрегату та режимів його роботи (рис. 2-4).

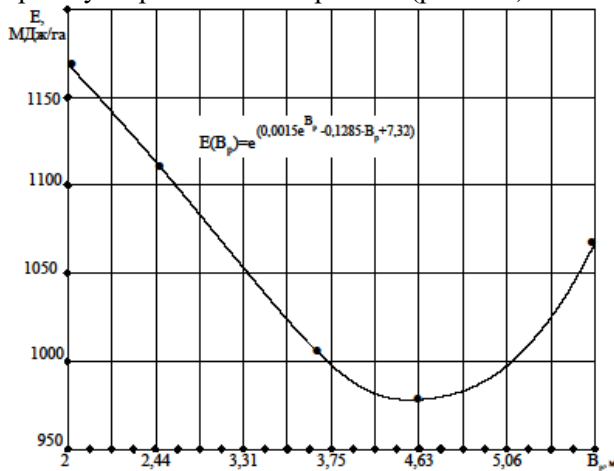


Рис. 3. Залежність сукупних витрат енергії E від ширини захвату B_p агрегату

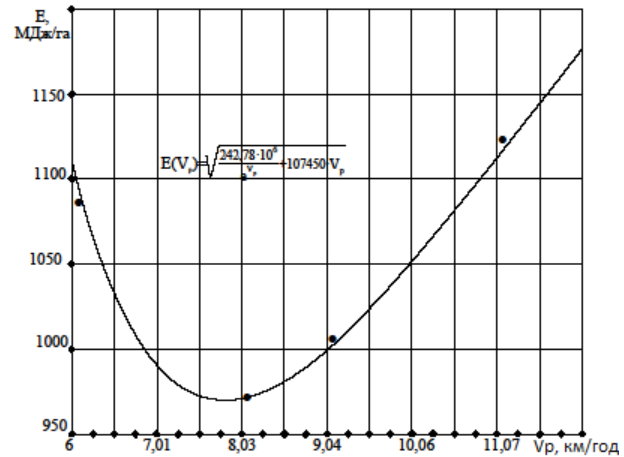


Рис. 4. Залежність сукупних витрат енергії E від робочої швидкості V_p агрегату

Достовірність отриманих залежностей підтверджується критерієм Кохрена: для першої залежності (рис.2) розрахункове значення критерію G_p становить 0,445, табличне $G_T=0,768$ ($G_p \leq G_T$) [14]; для другої залежності, відповідно $G_p=0,561$, $G_T=0,768$ і третьої $G_p=0,396$, $G_T=0,768$. На всіх графіках наочно проглядається екстремальні точки функції. При мінімальному значенні критерію оптимізації 966 МДж/га оптимальним значенням робочої швидкості агрегату на оранку буде 8,1 км/год.

5. Висновки

Проведені дослідження показують, що підвищення продуктивності ґрунтообробних агрегатів може бути отримано за рахунок оптимізації співвідношення маси трактора та потужності двигуна.

Для оранки стерні нормальної вологості на швидкості 8 км/год, при допустимому буксуванні 10%, оптимальними параметрами колісного трактора класу 1,4 будуть експлуатаційна маса 4790 кг та потужність двигуна 69,0 кВт. При цьому за тяговими характеристиками він буде відповідати тяговому класу 2.

Установка на задні колеса ширших шин при баластуванні трактора дозволить на оранці підвищити продуктивність і зменшити витрату палива на 16-18 %, при одночасному зменшенні руйнування та ущільнення ґрунту рушійними.

Список використаних джерел

1. Булгаков В. М., Кравчук В. І. Агрегатування плугів. К: Аграрна освіти. 2008. 134 с.
2. Гунько І. В., Бурлака С. А. Математичне моделювання роботи системи живлення дизельного двигуна працюючого на біопаливі з дросельним регулювання складу паливної суміші. *The scientific heritage*. 2020. № 50. С. 34–39.
3. Бурлака С. А., Кравець С. М. Diagnosis of fuel equipment of diesel engine by removing vibro indicators of fuel supply. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 3 (114). С. 114–123.
4. Scarlett A. J., Price J. S., Stayner R. M. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*. 2007. Vol. 44, Issue 1. Pp. 65–73.
5. Patil M. K., Palanichamy M. S. A mathematical model of tractor-occupant system with a new seat suspension for minimization of vibration response. *Applied Mathematical Modelling*. 1988. Vol. 12, Issue 1. Pp. 63–71.
6. Servadio P., Marsili A., Belfiore N.P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. *Biosystems Engineering*. 2007. Vol. 97, Issue 2. Pp. 171–180.
7. Мікуліна М. О. Аналітичне дослідження техніко-економічних показників орних агрегатів. *Вісник Сумського Національного Аграрного Університету, серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2018, № 10-34. 90 с.



8. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. К.: Вища освіта. 2004. 544с.
9. Музичук В. І., Анісімов В. Ф. Організація робіт підприємств технічного обслуговування: навчальний посібник. Вінниця: ФОП Рогальська І.О. 2012. 240 с.
10. Кравчука В. І., Грицишина М.І., Ковалю С.М. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. К.: Аграрна наука. 2004. 396 с.
11. Bulgakov V., Olt J., Kuvachov V. et al. A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*. 2020. № XXXI (1). P. 10–16.
12. Дубровін В. О., Сушко Д. С., Скоробогатов Д. В., Ролдугін М. І., Волик Б. А. Особливості основного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи. *Науковий вісник НАУ*. 2004. № 73. Част. 2. С. 55–60.
13. Бойко А. І., Свірень М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. К. 2003. 203 с.
14. Сисолін П. В., Сало В. М., Кропівний В. М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підручник для студентів вищих навчальних закладів зі спеціальності “Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва” Кн.1: Машини для рільництва. К.: Урожай. 2001. 384 с.
15. Бурлака С. А. Алгоритм функціонування машинно-тракторного агрегату з використанням системи живлення зі змішувачем палив. *Хмельницького національного університету*. 2022. С. 140–145.

References

- [1] Bulhakov, V.M., Kravchuk, V.I. (2008). *Ahrehativannya pluhiv*. K: Ahrarna osvity. [in Ukrainian].
- [2] Hun'ko, I.V., Burlaka, S.A. (2020). Matematychnе modelyuvannya roboty systemy zhyvlennya dyzel'noho dvyhuna pratsyuyuchoho na biopalyvi z drosel'nym rehulyuvannya skladu palyvnoyi sumishi. *The scientific heritage*, 50, 34–39 [in Ukrainian].
- [3] Burlaka, S.A., Kravets, S.M. (2021). Diagnosis of fuel equipment of diesel engine by removing vybro indicators of fuel supply. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 3(114), 114–123. [in English].
- [4] Scarlett, A.J., Price, J.S., Stayner, R.M. (2007). Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*, 44(1), 65–73. [in English].
- [5] Patil, M.K., Palanichamy, M.S. (1988). A mathematical model of tractor-occupant system with a new seat suspension for minimization of vibration response. *Applied Mathematical Modelling*, 12(1), 63–71. [in English].
- [6] Servadio, P., Marsili, A., Belfiore, N.P. (2007). Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. *Biosystems Engineering*, 97(2), 171–180. [in English].
- [7] Mikulina, M.O. (2018). Analitичne doslidzhennya tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv ornykh ahrehativ. *Visnyk Sums'koho Natsional'noho Ahrarnoho Universytetu, seriya «Mekhanizatsiya ta avtomatyzatsiya vyrobnychyykh protsesiv»*, 10-34, 90. [in Ukrainian].
- [8] Voytyuk, D.H., Dubrovin, V.O., Ishchenko, T.D. (2004). *Sil's'kohospodars'ki ta melioratyvni mashyny: Pidruchnyk*. K.: Vyshcha osvita. [in Ukrainian].
- [9] Muzychuk, V.I., Anisimov, V.F. (2012). *Orhanizatsiya robit pidpryyemstv tekhnichnoho obsluhovuvannya: navchal'nyy posibnyk*. Vinnytsya: FOP Rohal's'ka I.O. [in Ukrainian].
- [10] Kravchuka, V.I., Hrytsyshyna, M.I., Kovalya, S.M. (2004). *Suchasni tendentsiyi rozvytku konstruksiy sil's'kohospodars'koyi tekhniki*. K.: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
- [11] Bulgakov, V., Olt, J., Kuvachov, V. (2020). A theoretical and experimental study of the traction properties of agricultural gantry systems. *Agraarteadus: Journal of Agricultural Science*, XXXI (1), 10–16. [in English].
- [12] Dubrovin, V.O., Sushko, D.S., Skorobohatov, D.V., Rolduhin, M.I., Volyk, B.A. (2004). Osoblyvosti osnovnoho obrobittku hruntu pry vyroshchuvanni kukurudzy. *Naukovyy visnyk NAU*, 73(2), 55–60. [in Ukrainian].
- [13] Boyko, A.I., Sviren', M.O., Shmat, S.I., Nozhnov, M.M. (2003). *Novi konstruksiyi gruntoobrobnykh ta posivnykh mashyn*. K. [in Ukrainian].
- [14] Sysolin, P.V., Salo, V.M., Kropivnyy, V.M. (2001). *Sil's'kohospodars'ki mashyny: teoretychni osnovy, konstruksiya, proektuvannya: Pidruchnyk dlya studentiv vyshchyykh navchal'nykh zakladiv zi*



spetsial'nosti "Mashyny ta obladnannya sil's'kohosdars'koho vyrobnytstva" Kn.1: Mashyny dlya ril'nytstva. K.: Urozhay. [in Ukrainian].

- [15] Burlaka, S.A. (2022). Alhorytm funktsionuvannya mashynno-traktornoho ahrehatu z vykorystannyam systemy zhyvlennya zi zmishuvachem palyv. *Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu*. 140–145. [in Ukrainian].

EVALUATION OF ENERGY INDICATORS OF GRUNDING AGGREGATE

The analysis of tools for uncultivated and surface tillage shows that the market of agricultural machinery lacks universal units that can reliably and efficiently perform both types of tillage with one machine. To assess the validity of the unit baseline model, field studies were conducted, during which key agronomic indicators of tillage quality were identified. Studies have shown that the rate of uncultivated soil exceeds 6.5 km / h, and the degree of soil cracking - more than 80%. At small tillage to a depth of 12 cm at operating speeds over 7.0 km / h. The use of additional working bodies will allow to form on the basis of the basic model of the unit narrower options for a particular car.

The optimal design parameters of the proposed plowing unit, in addition to the plow width of 4.5 m, include rollers of the same width to level the plow surface and the capacity of the fertilizer hopper 4 m³. Technical parameters in the process: plow depth $\alpha = 0.2$ m, soil resistance coefficient $K_m = 30$ kN/m², working area $L_p = 1000$ m. surface treatment will reduce yields.

The energy model of functioning of the agricultural subdivision is presented. Studies have shown that by optimizing the ratio of tractor weight to engine power, you can increase the productivity of agricultural units. For stubble cultivation with a normal humidity of 8 km / h, with a permissible slip of 10%, the optimal parameters for a class 1.4 wheeled tractor will be the working weight $m = 4790$ kg and engine power $N = 69.0$ kW. In this case, the thrust will correspond to the 2nd thrust class.

Key words: soil, aggregate, tillage, tillage, model, indicators, cultivation

F. 12. Fig. 4. Ref. 15.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Гулько Ірина Василівна – кандидат технічних наук, професор кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: maniy@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5470-7413>).

Бурлака Сергій Андрійович – доктор філософії, старший викладач кафедри «Технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>).

Irina Gunko – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service, Vinnytsia National Agrarian University (Solnechnaya St., 3, Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: maniy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5470-7413>).

Serhii Burlaka – Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Department of Technological Processes and Equipment of Processing and Food Production, Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: ipserhiy@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4079-4867>).