

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОБОЧОЇ ШВИДКОСТІ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ МАШИННОГО АГРЕГАТУ: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ

Мікуліна Марина Олександрівна

кандидат економічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-6918-5192
maryna.mikulina@snau.edu.ua

Саржанов Богдан Олександрович

PhD, старший викладач
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-9796-9499
arhimag0@gmail.com

Поливаний Антон Дмитрович

магістрант
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-8363-7186
polivanui1@gmail.com

Дана робота присвячена аналізу впливу робочої швидкості на експлуатаційні показники машинного агрегату з метою дослідження та оптимізації його роботи. Дослідження включало оцінку ступеня та характеру впливу швидкості роботи агрегату в полі на такі важливі показники, як прямі експлуатаційні витрати на обробіток 1 га землі, продуктивність роботи агрегату та коефіцієнт якості виконання агроробіт.

У дослідженнях використовувався сучасний тракторний парк, що складався з енергетичних засобів виробництва американської компанії CASE IH, а також номенклатура сучасних агромашин, виробництва німецької компанії HORSCH. Машинні агрегати були використані для виконання механізованих технологічних операцій з посіву зернових культур на підготовлених полях.

Аналіз створених графічних моделей показав, що робоча швидкість агрегату істотно впливає на всі 3 експлуатаційні показники, що досліджувались. При зростанні робочої швидкості агрегату з 4-х до максимальних для сівалок HORSCH 16-ти км/год, відбулося падіння рівня витрат, в середньому, на 76,04%. Середнє значення продуктивності за робочої швидкості 4 км/год для 5-ти МА, що досліджувалися, становило 1,48 га/год, за робочої швидкості 16 км/год це значення збільшилось в середньому до 5,79 га/год, або на 291,2%. Максимальне значення коефіцієнта якості для всіх п'яти агрегатів досягалося при швидкості роботи на рівні 10 км/год ($k_{я} = 0,855$). При відхиленні від даного значення в будь-яку зі сторін відбувалося стрімке зниження якості виконання агроробіт. Так, наприклад, при роботі зі швидкістю на 4 км/год повільніше та на 4 км/год швидше зазначеного рівня відбулось падіння коефіцієнта якості, в середньому, на 24,56% та 30,99%, відповідно.

Результати досліджень дозволили встановити зв'язок між робочою швидкістю машинного агрегату та його експлуатаційними показниками. Також було розроблено оптимальні рекомендації щодо використання робочої швидкості з метою досягнення більш ефективного використання ресурсів, зниження експлуатаційних витрат та поліпшення якості виконання агроробіт.

В результаті проведення даної дослідницької роботи було визначено, що оптимальне значення робочої швидкості агрегату може значно варіюватися в залежності від цілей та пріоритетів підприємства. Для одночасної мінімізації експлуатаційних витрат, збільшення продуктивності роботи та забезпечення якнайвищого коефіцієнта якості, в умовах даного дослідження, доцільно було обрати швидкісний режим на рівні 10 – 12 км/год, що приблизно дорівнює 62,5 – 75% від максимально допустимого, згідно технічної документації агромашин, що розглядалися.

Ключові слова: робоча швидкість, машинний агрегат (МА), прямі експлуатаційні витрати, продуктивність, коефіцієнт якості.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.3>

Постановка проблеми. У сучасному сільському господарстві ефективне використання машинних агрегатів є необхідною умовою для досягнення високої продуктивності та оптимізації витрат агропідприємств. Одним з факторів, що впливають на експлуатаційні показники агрегату, є його робоча швидкість. На сьогоднішній день існує потреба у глибокому аналізі впливу швидкості на

експлуатаційні витрати, продуктивність та якість виконання агроробіт.

Ця проблема є особливо актуальною, оскільки швидкість пересування агрегату може значно варіюватися в процесі виконання ним польових робіт, тому оптимальний вибір швидкісного режиму, з врахуванням цілей та пріоритетів, може бути складним завданням для

сільськогосподарських підприємств. Важливо встановити зв'язок між робочою швидкістю, експлуатаційними витратами, продуктивністю та коефіцієнтом якості виконання агроботів з метою забезпечення оптимальних результатів та сталого розвитку вітчизняних агропідприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останній час спостерігається зростання значущості наукових досліджень у сфері агроінженерії. Дослідженнями у цій галузі з кожним роком займаються все більше як вітчизняних, так і іноземних науковців, що свідчить про розширення міжнародного інтересу у цій області.

Автори О. І. Анікеєв (Anikieiev et al., 2019), В. М. Зубко (Zubko et al., 2018), М. О. Мікуліна (Mikulina, 2019) та інші у своїх роботах досліджували методики обґрунтування раціонального складу та швидкісного режиму роботи машинних агрегатів, проте вони зазначили, що необхідно провести додаткові дослідження ступеня та характеру впливу швидкісного режиму роботи агрегату на його експлуатаційні показники.

Мета досліджень. Метою даного дослідження є аналіз впливу робочої швидкості на експлуатаційні показники машинного агрегату та знаходження оптимального швидкісного режиму його роботи. Дослідження спрямовані на визначення ступеня і характеру впливу робочої швидкості на такі важливі показники, як прямі експлуатаційні витрати підприємства на обробіток 1 га землі, продуктивність роботи агрегату та коефіцієнт якості виконання агроботів.

Основний матеріал. Робоча швидкість машинного агрегату є одним з ключових параметрів, який визначає фактичну швидкість його руху під час виконання польових робіт. Робоча та фактична швидкості руху завжди мають різні значення. Різниця між ними залежить від умов роботи, таких, як підвищений опір та сили тертя, буксування у ґрунті, агрофон, недосконалість обладнання та інші. Основна різниця між ними полягає в тому, що робоча швидкість відображає задану або очікувану швидкість руху, тоді як фактична відображає реальну швидкість, з якою рухається об'єкт або система (Barabash et al. 2013; Zubko et al., 2018).

Швидкісні режими роботи машинного агрегату визначаються в залежності від конкретного виду польових робіт, які виконуються, цілей та пріоритетів підприємства, як от більша якість або менші виробничі витрати, і технічних особливостей обладнання, що використовується підприємством.

Різні види агроботів, такі як посів, збір врожаю, обробіток ґрунту тощо, можуть вимагати використання різних швидкісних режимів роботи агрегатів, у межах від 3 до 20 км/год або, у деяких випадках, навіть більше (Barabash et al., 2022).

Робоча швидкість машинного агрегату має значний вплив на його експлуатаційні показники. Залежно від швидкості роботи, спостерігаються зміни у прямих експлуатаційних витратах, продуктивності роботи агрегату, якості виконання ним польових робіт та у багатьох інших параметрах. Збільшення робочої швидкості може спричинити зниження витрат на обробіток одного гектара площі поля та природним чином підвищувати

продуктивність агрегату, але зміна швидкісного режиму, беззаперечно, вплине й на якість виконання польових робіт. З метою знаходження характеру й ступеня цього впливу та подальшої оптимізації швидкісного режиму роботи МА, необхідно розглянути основні математичні принципи, за якими розраховуються шукані показники, провести дослід та створити відповідні графічні моделі (Zubko et al., 2022; Mikulina & Polyvaniy, 2023).

Прямі експлуатаційні витрати на виконання агроботів можна розрахувати за допомогою формули (1):

$$Q = C_n + C_{пмм} + C_{\phi} + A + C_{ТО} \quad (1)$$

де, Q – прямі експлуатаційні витрати, грн/га;

C_n – витрати на закупівлю пального, грн/га (вартість дизельного палива прийняли на рівні 47 грн/л);

$C_{пмм}$ – витрати на закупівлю паливо-мастильних матеріалів, грн/га (комплексну вартість ПММ прийняли на рівні 270 грн/кг);

A – амортизаційні відрахування, грн/га;

$C_{ТО}$ – витрати на ТО та ремонт, грн/га;

C_{ϕ} – витрати на заробітну плату водіїв, грн/га (фіксовану ставку тракториста-машиніста п'ятого розряду прийняли на рівні 539,5 грн/год).

Продуктивність виконання польових робіт агрегатом можна розрахувати за допомогою формули (2):

$$P = 0.1 * W * v_{\phi} * k_{\phi} \quad (2)$$

де, P – продуктивність МА, га/год;

W – ширина захвату агромашини, м;

v_{ϕ} – фактична швидкість руху агрегату (з врахуванням буксування, агрофону та ін.), км/год;

k_{ϕ} – коефіцієнт використання часу зміни, од.

Коефіцієнт надійності агромашини (AM) розраховується за формулою (3) (Artomov et al., 2015; Hoormazdi et al., 2019; Lysenkov & Demin, 2022):

$$k_{нAM} = k_{aAM} \times (-0.014876 \times v^2 + 0.28632 \times v - 0.38224 + 0.00774) \times (0.01 \times D + 0.88) \times (0.001 \times Y + 0.91) \times (-0.004 \times F_{зч}^2 + 0.0783 \times F_{зч} + 0.6257) \times (0.00005 \times v + 0.93) \times (-0.001 \times N + 1.026) \quad (3)$$

де, $k_{нAM}$ – коефіцієнт надійності AM, од;

k_{aAM} – коефіцієнт забезпечення агровимог AM, од;

v – максимальна робоча швидкість AM, км/год (у даному дослідженні для усіх AM $v = 16$ км/год);

$F_{зч}$ – сила зчеплення ЕЗ із землею під час польових робіт, кН;

N – твердість ґрунту, кПа (кН/м²) (у даному дослідженні $N = 55$ кПа);

D – глибина обробітку ґрунту, см ($D = 0$, якщо проводяться інші операції);

Y – умови роботи МА (1-9), у даному дослідженні $Y = 3$ (середні умови).

Коефіцієнт надійності енергетичного засобу (ЕЗ) розраховується за формулою (4):

$$k_{нЕЗ} = \frac{k_{aЕЗ}}{\left(1 + \frac{s}{100}\right)} \quad (4)$$

де, $k_{нЕЗ}$ – коефіцієнт надійності ЕЗ, од.;
 $k_{аЕЗ}$ – коефіцієнт забезпечення агровимог ЕЗ, од.;
 s – буксування, %.

Коефіцієнт якості виконання механізованих технологічних операцій (МТО) на полі розраховується за формулою (5):

$$k_{я} = k_{нЕЗ} * k_{нАМ} \quad (5)$$

де, $k_{я}$ – коефіцієнт якості виконання МТО, од.

У дослідженні, метою якого є визначення характеру та ступеню впливу робочої швидкості на зазначені експлуатаційні показники, використовувались п'ять машинних агрегатів, у склад яких входили трактори різної потужності марки CASE та сівалки з різною шириною захвату марки HORSCH. Їх склад та характеристики наведені в таблиці 1.

За результатами проведених польових досліджень, з використанням машинних агрегатів зазначеного складу, були створені 3 графічні моделі, що відображають характер та ступінь впливу робочої швидкості на прямі експлуатаційні витрати, продуктивність виконання польових робіт та коефіцієнт якості виконання МТО з посіву зернових культур (рис. 1–3).

Провівши аналіз графіка, представленого на рисунку 1, можемо прийти до висновку, що робоча швидкість агрегату значно впливає на прямі експлуатаційні витрати підприємства, пов'язані з проведенням посівних робіт на одному гектарі поля. У випадку, коли швидкість дорівнювала 4 км/год, витрати 5-ти МА були

в діапазоні 2210 – 2875 грн/га, в середньому 2450 грн/га. Коли робоча швидкість зростає до максимальних, для сівалок HORSCH, 16-ти км/год, відбулося падіння рівня витрат, в середньому, на 76,04%, до середнього значення 587 грн/га в діапазоні 500 – 675 грн/га.

Змодельований графік, що представлений на рисунку 2, демонструє істотне підвищення продуктивності виконання агроробіт машинним агрегатом зі зростанням технічної швидкості його роботи. Середнє значення продуктивності за робочої швидкості 4 км/год для 5-ти МА, що досліджувалися, становило 1,48 га/год, за робочої швидкості 16 км/год це значення збільшилось в середньому до 5,79 га/год або на 291,2%.

Аналізуючи нелінійну модель залежності коефіцієнта якості від швидкості роботи МА на полі, представлену на рисунку 3, можемо дійти висновку, що максимальне значення коефіцієнта для всіх п'яти агрегатів досягається при швидкості роботи на рівні 10 км/год ($k_{я} = 0,855$). Ця точка є екстремумом даної кривої, при відхиленні від якого в будь-яку зі сторін відбувається стрімке зниження якості виконання агроробіт. Так, наприклад, при роботі зі швидкістю на 4 км/год повільніше та на 4 км/год швидше зазначеного рівня відбувається падіння коефіцієнта якості в середньому на 24,56% та 30,99%, відповідно.

З наведених моделей видно, що оптимальне значення робочої швидкості агрегату може значно варіюватися в залежності від цілей та пріоритетів підприємства. Для одночасної мінімізації експлуатаційних витрат, збільшення продуктивності роботи та забезпечення

Таблиця 1

Основні характеристики досліджуваних агрегатів для виконання механізованих технологічних операцій з посіву зернових культур

№	Склад МА (ЕЗ + АМ)	Потужність двигуна ЕЗ, кВт	Питома витрата пального ЕЗ, гр*кВт/год	Експлуатаційна маса ЕЗ, т	Балансова вартість ЕЗ, \$	Макс. ширина захвату АМ, м	Експлуатаційна маса агрегату, т	Ємність бункера АМ, тис. л	Балансна вартість АМ, \$
1.	CASE IH Farmall JX 110 + HORSCH Pronto 3 DC	81	213	3,95	28251	3,0	3,34	2,8	28936
2.	CASE IH Maxxum 125 + HORSCH Pronto 4 DC	89	258	4,95	49016	4,0	4,75	2,8	39345
3.	CASE IH Puma 155 + HORSCH Pronto 6 DC	142	240	5,84	40191	6,0	6,48	4,0	42118
4.	CASE IH Puma 210 + HORSCH Pronto 8 SW	178	268	7,75	46550	8,0	12,55	12,0	104230
5.	CASE IH Optum 300 + HORSCH Pronto 9 SW	230	249	11,1	119672	9,0	13,25	12,0	131700

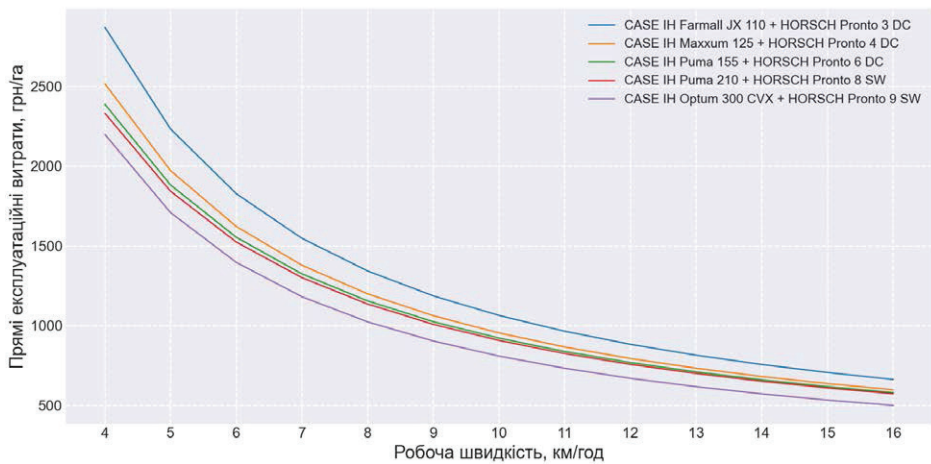


Рис. 1. Вплив робочої швидкості МА на прямі експлуатаційні витрати, пов'язані з виконанням механізованих технологічних операцій з посіву зернових культур

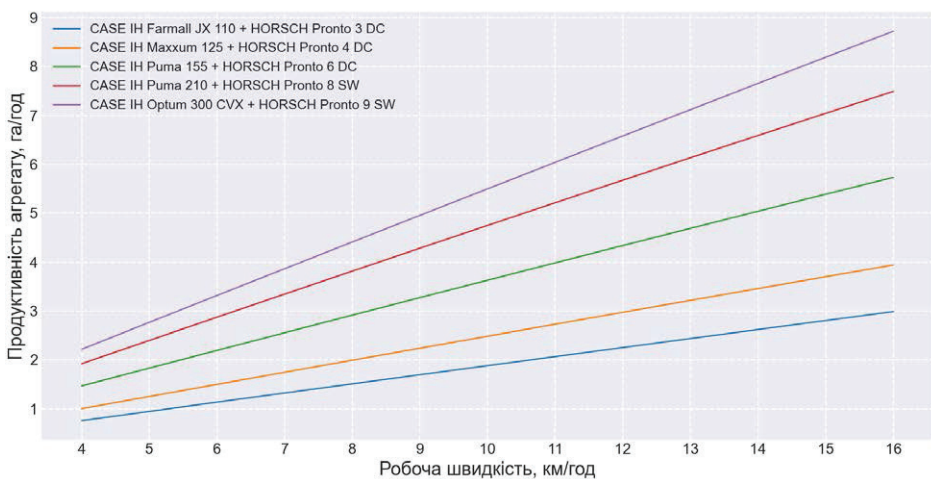


Рис. 2. Вплив робочої швидкості МА на продуктивність виконання ним польових робіт

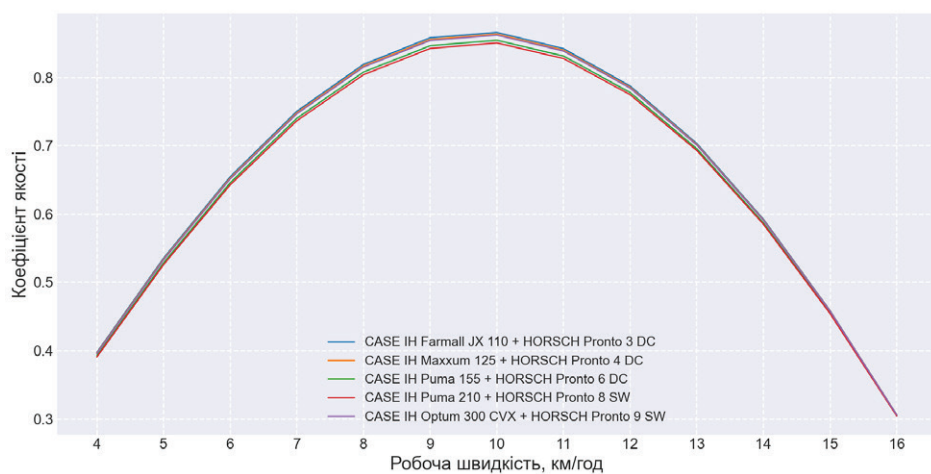


Рис. 3. Вплив робочої швидкості МА на коефіцієнт якості виконання механізованих технологічних операцій з посіву зернових культур

якнайвищого коефіцієнта якості, в умовах даного дослідження, доцільно обрати швидкісний режим на рівні 10 – 12 км/год, що приблизно дорівнює 62,5 – 75% від максимально допустимого, згідно технічної документації агромашин, що розглядалися.

Висновок. В ході даного дослідження було проведено аналіз впливу робочої швидкості на експлуатаційні показники машинного агрегату з метою дослідження та оптимізації його роботи. Результати аналізу підтвердили значний вплив робочої швидкості на витрати, продуктивність та якість виконання агроробіт. При зростанні робочої швидкості агрегату з 4 до 16 км/год в середньому для 5-ти МА спостерігалось зменшення витрат на 76,04% (з 2450 до 587 грн/га), збільшення продуктивності на 291,2% (з 1,48 до 5,79 га/год), проте максимальне значення коефіцієнта якості в 0,855 од. досягалося на позначці 10 км/год, після подолання якої відбувалося стрімке падіння даного показника.

В ході аналізу графічних моделей було визначено, що робоча швидкість, менша за 10 км/год, є не оптимальною для машинних агрегатів, що розглядалися, адже призводить не лише до підвищення експлуатаційних

витрат та падіння продуктивності роботи, а й до зниження якості виконання МТО з посіву зернових культур. Так, уповільнення агрегату з 10 до 6 км/год спричинило падіння коефіцієнта якості, в середньому, на 24,56%. Робоча швидкість, що перевищує 10 км/год має вже менш однозначний ефект. Прискорення агрегату з 10 до 14 км/год також спричиняє стрімке падіння коефіцієнта якості, в середньому, на 30,99%, але, водночас, значно підвищує продуктивність роботи та знижує експлуатаційні витрати на посівні роботи.

Варіювання оптимального значення робочої швидкості агрегату обумовлене цілями та пріоритетами підприємства, але воно не повинне падати нижче рівня максимальної якості виконання агроробіт. Для машинних агрегатів, що використовувались під час досліджень у даній роботі, з метою мінімізації витрат, збільшення продуктивності та досягнення найвищого коефіцієнта якості, рекомендується обрати швидкісний режим у діапазоні 10 – 12 км/год, що становить 62,5–75% від максимально допустимого рівня, відповідно до технічної документації агромашин, що використовувались.

Бібліографічні посилання:

1. Anikieiev, O. I., Syrovitskyi, K. H., Ahapov, M. O., & Boiko, A. O. (2019). Metodyka obgruntuvannia ratsionalnogo skladu i shvydkisnogo rezhymu roboty mashynnykh ahrehativ. [The method of substantiating the rational composition and high-speed mode of operation of machine units.]. *Naukovyi zhurnal «Tekhnichniy servis ahropromyslovoho lisovoho ta transportnogo kompleksiv»*, (18), 62-69. (in Ukrainian)
2. Artomov, M. P., Shuliak, M. L., Koliesnik, I. V., & Kozlov, Yu. Yu. (2015). Vplyv kolyvannia shvydkosti rukhu MTA na nadiinist tekhnolohichnoi operatsii. [The influence of MTA movement speed fluctuations on the reliability of the technological operation]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnogo tekhnichnogo universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, (163), 84-89. (in Ukrainian)
3. Barabash, G. I., Mikulina, M., & Polyvanyi, A. D. (2022). Metodychni ta ekonomichni pidkhody vidnosno vyznachennia vytrat palyva transportnykh zasobiv pry perevezenni zerna vid zernozbyralnykh kombainiv. [Methodological and economic approaches regarding the determination of fuel consumption of vehicles when transporting grain from grain harvesters]. *Visnyk Sumskoho natsionalnogo aharnoho universytetu. Seriya: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychyykh protsesiv*, (2 (44)), 13-16. (in Ukrainian) doi: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.3>
4. Barabash, H., Zubko, V., Barabash, O., & Shchur, T. (2013). Osoblyvosti obgruntuvannia rezhymiv roboty mashynnykh ahrehativ z vykorystanniam suchasnykh enerhetychnykh zasobiv. [Peculiarities of justifying the modes of operation of machine units using modern energy means]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnogo aharnoho universytetu. Ahroinzhenerni doslidzhennia*, (17), 110-116. (in Ukrainian)
5. Hoormazdi G., K pferle J., R ttger A., Theisen W., Hack K. A (2019). Concept for the Estimation of Soil Tool Abrasive Wear Using ASTM G65 Test Data. *International Journal of Civil Engineering*. No 17. P. 103-111. doi: <https://doi.org/10.1007/s40999-018-0333-9>
6. Lysenkov, V., Demin, D. (2022). Reserves of resource saving in the manufacture of brake drums of cargo vehicles. *ScienceRise*, 3, 14–23. doi: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002551>
7. Mikulina M. O. (2019). Doslidzhennia pokaznykiv ornykh ahrehativ. [Study of indicators of arable aggregates]. *Zbirnyk tez dopovidei po materialakh mizhnarodnoi naukovoï internet-konferentsii «Vitchyzniana nauka na zlami epokh : problemy ta perspektyvy rozvytku»*, (m. Pereiaslav-Khmelnitskyi, 15 bereznia 2019 r.). – Pereiaslav-Khmelnitskyi, 2019. – Vyp. 50. – S. 253-257. (in Ukrainian)
8. Mikulina, M., & Polyvanyi, A. (2023). Funktsionuvannia systemy tekhnichnogo servisu v APK. [Functioning of the technical service system in the agricultural industry.]. *Aktualni pytannia u suchasniï nautsi*, (3 (9)). (in Ukrainian) doi: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2023-3\(9\)-97-106](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2023-3(9)-97-106)
9. Zubko, V. M., Melnyk, V. I., Sokolik, S. P., Shpatak, R. I., Zubko, V. N., Melnyk, V. Y., ... & Shpatak, R. Y. (2018). Doslidzhennia yakisnykh pokaznykiv roboty dyskovoï borony. [Study of quality indicators of disk harrow operation.]. (in Ukrainian) doi: <https://doi.org/10.31548/dopovid2018.06.029>
10. Zubko, V., Roubik, H., Zamora, O., & Khvorost, T. (2018). Analiz ta prohnoz ekspluatatsiinykh kharakterystyk zernozbyralnykh kombainiv. [Analysis and forecast of performance characteristics of combine harvesters]. (in Ukrainian) doi: <https://doi.org/10.15159/AR.18.212>
11. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Onychko, V., Sokolik, S., Roubik, H., Koszel, M. & Shchur, T. (2022). Modeliuvannia rukhu zerna pshenytsi pid chas sivby na osnovi modeli zerna zi zmishchenym tsentrom vahy. [Modelling Wheat Grain Flow During Sowing Based on the Model of Grain with Shifted Center of Gravity]. *Silskohospodarske mashynobuduvannia*, 26(1) 25-37. (in Ukrainian) doi: <https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0003>

Mikulina M. O., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Sarzhanov B. O., PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Polyvanyi A. D., Master's degree, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Analysis of the impact of working speed on the operational indicators of a machine unit: research and optimization

This study is devoted to analyzing the influence of working speed on the operational indicators of a machine unit (MU) in order to investigate and optimize its performance. The research included evaluating the degree and nature of the impact of the unit's working speed in the field on important indicators such as direct operational costs per hectare of land cultivation, work productivity of the unit, and quality coefficient of agricultural operations execution.

The investigations were conducted using a modern tractor fleet consisting of power machines (PM) manufactured by the American company CASE IH, as well as a range of contemporary agricultural machines produced by the German company HORSCH. The machine units were utilized for mechanized technological operations related to sowing cereal crops in prepared fields.

The analysis of created graphical models revealed a significant influence of the working speed of the unit on all three investigated operational indicators. As the unit's working speed increased from 4 km/h to the maximum level of 16 km/h for HORSCH seed drills, there was an average reduction in cost levels by 76.04%. The average productivity value at a working speed of 4 km/h for the five investigated machine units was 1.48 hectares per hour, while at a speed of 16 km/h, it increased on average to 5.79 hectares per hour, representing a growth of 291.2%. The maximum value of the quality coefficient for all five units was achieved at a working speed of 10 km/h ($k_n = 0.855$). Deviating from this value in any direction resulted in a rapid decrease in the quality of agricultural operations execution. For instance, when operating at a speed 4 km/h slower or faster than the specified level, the average decrease in the quality coefficient was 24.56% and 30.99%, respectively.

The research findings established a correlation between the working speed of the machine unit and its operational indicators. Furthermore, optimal recommendations regarding the use of working speed were developed to achieve more efficient resource utilization, cost reduction, and improvement in the quality of agricultural operations execution.

In conclusion, the conducted research determined that the optimal value of the working speed for the machine unit can vary significantly depending on the goals and priorities of the enterprise. To simultaneously minimize operational costs, increase work productivity, and ensure the highest quality coefficient, it is advisable, based on the conditions of this study, to select a speed range of 10-12 km/h, approximately 62.5-75% of the maximum permissible speed according to the technical documentation of the considered agricultural machines.

Key words: working speed, machine unit (MU), direct operational costs, productivity, quality coefficient.