

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИТРАТИ В ПРОЦЕСІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Кузьмич Іван Михайлович

аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-1718-6123

beliy1994@meta.ua

*Автором в статті представлено результати обґрунтування основного показника надійності зернозбиральних комбайнів – безвідмовності, що впливає на показники ефективного їх машиновикористання, виходили з умов виконання технологічного процесу в агротехнічні терміни з урахуванням мінімізації всіх витрат, пов'язаних із експлуатацією зернозбиральних комбайнів.*

*Наведено методичні передумови розробки економіко-математичної моделі, обґрунтовано критерій оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів, розроблено модель та надано оцінку впливу вибору окремих зернозбиральних комбайнів на ефективність роботи комбайнового парку сільськогосподарського підприємства в цілому. Для оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів за економіко-математичною моделлю приймаємо мінімум питомих сумарних витрат, як критерій, що найбільш об'єктивно відображає всі складові витрат, пов'язаних з експлуатацією зернозбиральних комбайнів. Завдання вирішується у два етапи: проводиться оцінка ефективності окремих зернозбирального комбайну за марками з урахуванням основних показників їхньої надійності та інших показників; оцінюється ефективність комбайнового парку господарства при його комплектуванні комбайнами різних моделей.*

*У роботі показано, що виконання технологічних процесів збирання зернових у агротехнічні терміни значною мірою залежить від простоїв машин через відмови з технічних причин, що визначають рівень надійності зернозбиральних комбайнів. З іншого боку, знаючи рівень надійності машин, можна налагодити оптимальну роботу сервісних служб і не допустити порушення виконання технологічних робіт в агротехнічні терміни.*

*В статті представлено результати обґрунтування економіко-математичної моделі, яка враховує та дозволяє оцінити ефективність зернозбиральних комбайнів за обґрунтованим критерієм – сумарними питомими витратами на один гектар збиральної площі, або одну тонну намолоченого зерна, з урахуванням напрацювання на відмову та на підставі цього робити висновки про ефективність зернозбиральних комбайнів.*

**Ключові слова:** безвідмовність, витрати, збереженість, ефективність, комбайн.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.8>

**Постановка проблеми.** Становище, що склалося за останній період з інженерно-технічним забезпеченням сільських товаровиробників (Rogovskii, 2020), стало стримуючим фактором у вирішенні основних завдань програми розвитку сільського господарства та продовольства (Nazarenko et al., 2020). Так, за роки війни з росією різко зменшився парк машин та обладнання у сільгосппідприємствах внаслідок недостатнього оновлення техніки (Rogovskii et al., 2022). Наприклад, парк зернозбиральних комбайнів країни скоротився з 2020 року до 2022 року на 8%. Внаслідок цього навантаження на одиницю техніки сільгосптоваровиробників збільшилося в 1,5–2,8 рази. Зауважимо, що середнє навантаження на зернозбиральний комбайн у США становить лише 63 га (Pinzi et al., 2016), а в Україні воно досягає 312 га (Rogovskii et al., 2021c).

Усереднений показник надходження нової техніки до агропромислового комплексу у останні ковідні роки становить 0,9–2,7% її наявності (Novotny, 2016), а спадання – 4,3–8,2% (Rogovskii et al., 2021e), тобто. вибуття випереджає надходження у 2,3–5 разів. При цьому терміни фактичної експлуатації машин та обладнання перевищують нормативні у 2–3 рази та перевищують нормативний у 70% зернозбиральних комбайнів (Kuzmich et al., 2021). Все це в сукупності призводить до порушень

виконання технологічних процесів (Masek et al., 2017), зниження обсягів виробництва сільськогосподарської продукції, зростання її собівартості (Rogovskii, 2019) та зниження конкурентоспроможності вітчизняної продукції сільського господарства (Sergejeva et al., 2018). Одним із шляхів виходу із становища є перехід до застосування більш надійної збиральної техніки. Але така техніка відрізняється як показниками надійності, так і вартістю (Palamarchuk et al., 2021).

Так, напрацювання на відмову імпортних зернозбиральних комбайнів складає 100 і більше годин, а вітчизняні – лише 57 годин, але дешевші (Rogovskii et al., 2019). Відсутність щодо низки позицій конкурентоспроможної техніки вітчизняного виробництва, а також дефіцит кваліфікованих кадрів комбайнерів потребує найбільших і економічно сильних господарств купувати більш дорогі, але надійні зернозбиральні комбайни (Luo et al., 2013). Тому при придбанні нових зернозбиральних комбайнів сільськогосподарські підприємства стоять перед вибором найекономічніших, але ефективних за показниками надійності комбайнів з метою подальшого комплектування та поновлення їх парку (Forgó et al., 2021). Існуючі методи вибору жнив не враховують показники надійності. Відсутні і дані про ефективність зернозбиральних комбайнів з урахуванням показників надійності та стосовно

умов територій України. У зв'язку з цим актуальним стають розв'язки задачі, спрямовані на оцінку ефективності зернозбиральних комбайнів з урахуванням їхньої надійності через безвідмовність за інженерного менеджменту періоду зберігання, як один з її основних показників, а також інших показників комбайнів, що й визначає актуальність цієї роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Специфікою умов збирання зернових сільськогосподарських культур є порівняно великі розміри аграрних підприємств і велика розкиданість відділень агрохолдингів, ферм, бригад, короткий вегетаційний період, що обумовлює стислі терміни проведення збирання, затяжна весна, а в степових районах – посушливий весняно-літній період (Dubbini et al., 2017). Бездоріжжя, велика віддаленість господарств як один від одного, так і від районних центрів і спеціалізованих сервісних підприємств, відсутність необхідних запасних частин у потрібний момент дуже впливають на надійність зернозбиральних комбайнів і пред'являють підвищені вимоги до їх безвідмовності (Carter et al., 2015).

Відомо (Rogovskii et al., 2021d), що в середньому по країні в період збирання щорічно, незважаючи на нестачу машин, простоє до 16% зернозбиральних комбайнів. Комбайновий парк сильно зношений і продовжується його старіння (Astashev & Krupenin, 2017). Так, у 2022 році середній вік зернозбиральних комбайнів становив 15 років.

В 2020–2021 роках господарства почали купувати імпорту техніку з вторинного ринку. Однак слід враховувати, що умови експлуатації в Україні різко відрізняються від європейських країн.

Наведений аналіз наукових досліджень (Rogovskii et al., 2021a), спрямованих на дослідження надійності та ефективності зернозбиральних комбайнів, показав, що розроблені методики, базуючись на сучасних методах математичного моделювання (Viba & Lavendelis, 2006), не повністю відображають реальність різноманіття зв'язків у сфері їх експлуатації в сільськогосподарських підприємствах і не дають однозначної відповіді (Romanіuk et al., 2018), яку техніку краще набувати – нову чи із вторинного ринку. З економічних позицій – менш надійну, але відносно недорого – із вторинного ринку (Zagurskiy et al., 2018), або надійнішу та найдорожчу – нову (Drga et al., 2016).

У наведених методиках, як правило, обґрунтовуються або розглядаються окремі параметри зернозбиральних комбайнів та його складових частин чи збирального процесу без належного обліку їх взаємозв'язків з іншими параметрами та показниками, а також у них недостатньо повно враховані специфічні особливості зон (Liu et al., 2021).

Тому обґрунтування ефективності зернозбиральних комбайнів з урахуванням безвідмовності як одного з основних параметрів надійності для умов інженерного менеджменту у період зберігання вимагає додаткових наукових досліджень, що передбачають її взаємопов'язання та взаємозв'язок з надійністю комбайнів, є актуальним.

**Метою досліджень** є підвищення ефективності використання комплектованого парку зернозбиральних машин господарства за рахунок обліку основних показників надійності моделей комбайнів в умовах інженерного менеджменту періоду зберігання.

**Результати досліджень.** При визначенні безвідмовності як одного з показників надійності виходили з оптимального плану використання зернозбиральних комбайнів, їх надійності. Необхідна кількість машин ( $X$ ) визначалася як:

$$X = F \cdot (W_z \cdot T_3 \cdot D_{opt} \cdot k_1 \cdot K_e)^{-1}, \quad (1)$$

де  $F$  – обсяг робіт, необхідний для виконання технологічного процесу, га;

$W_z$  – середня годинна продуктивність зернозбирального комбайна, га/год;

$T_3$  – тривалість зміни, год;

$D_{opt}$  – оптимальна тривалість виконання технологічного процесу, дні;

$k_1$  – коефіцієнт використання календарного часу за метеорологічними умовами;

$K_e$  – коефіцієнт готовності зернозбирального комбайну за інженерного менеджменту у період зберігання.

Для оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів за економіко-математичною моделлю приймаємо мінімум питомих сумарних витрат, як критерій, що найбільш об'єктивно відображає всі складові витрат, пов'язаних з експлуатацією комбайнів.

Завдання вирішується у два етапи:

– проводиться оцінка ефективності окремих зернозбирального комбайну за марками з урахуванням основних показників їхньої надійності та інших показників;

– оцінюється ефективність комбайнового парку господарства при його комплектуванні комбайнами різних моделей.

Для виконання першого етапу завдання – оцінки ефективності окремого зернозбирального комбайну за економіко-математичною моделлю як критерій оцінки його ефективності, як було зазначено раніше, приймаємо питоми сумарні витрати на збирання зернових ( $Z_p$ ), які можна представити у вигляді:

$$Z_p = A + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $Z_p$  – питоми сумарні витрати на збирання 1 га врожаю, грн/га;

$A$  – сума амортизаційних відрахувань ЗК, грн/га;

$Z_1$  – заробітна плата комбайнера та допоміжних робітників, грн/га;

$Z_2$  – витрати на паливно-мастильні матеріали, грн/га;

$Z_3$  – витрати на технічне обслуговування, ремонт та зберігання комбайна, грн/га;

$Z_4$  – вартість втрат урожаю комбайном, грн/га;

$Z_5$  – вартість біологічних втрат врожаю, що залежать від термінів збирання, грн/га;

$Z_6$  – вартість втрат урожаю з технічних причин (через простої комбайну), грн/га;

$Z_7$  – витрати на відрахування та податки, грн/га.

Особливістю цієї моделі (2) є те, що в ній враховуються втрати врожаю, які складаються: із втрат урожаю безпосередньо комбайном через його технічну недосконалість, з біологічних втрат урожаю, що залежать від сорту культури, що обробляється, та термінів збирання та втрат урожаю з технічних причин через простої комбайнів у зв'язку з виникненням відмов.

Зупинимось на визначенні втрат урожаю докладніше, оскільки визначення перших чотирьох складових у формулі (2) труднощів не викликає.

При проведенні виробничих випробувань нових комбайнів для них встановлюються нормативні втрати, які включають втрати за жнивваркою внаслідок негерметичності від недомолота та наявності вільного зерна в соломі під час очищення.

Вартість втрат ( $Z_4$ ), для різних марок вітчизняних комбайнів подаємо у вигляді виразу:

$$Z_4 = Z_w \cdot C \cdot X_g, \quad (3)$$

де  $Z_w$  – середня біологічна врожайність, ц/га,  $C$  – ринкова закупівельна вартість зернового збіжжя, грн/ц,  $X_g$  – коефіцієнт втрат зерна за комбайном.

Вартість біологічних втрат врожаю ( $C_{Z_w}$ ) визначаємо за такою формулою:

$$C_{Z_w} = k_b \cdot Z_{wmax} \cdot C \cdot X_p \cdot K_e \cdot (W_d)^{-1}, \quad (4)$$

де  $Z_{wmax}$  – максимальна врожайність у період повного дозрівання пшениці, ц/га;

$k_b$  – коефіцієнт втрат за періодом повного дозрівання пшениці, %;

$X_p$  – коефіцієнт біологічних втрат урожаю;

$W_d$  – добова продуктивність комбайна, га/день.

Вартість втрат урожаю з технічних причин ( $Z_5$ ) (через простої комбайнів) за період збирання  $T$  складе:

$$Z_5 = Z_{5i} \cdot T_p, \quad (5)$$

де  $Z_{5i}$  – вартість 1 год простою комбайна за період  $T$ , грн/год;

$T_p$  – час простою комбайну у період  $T$ , год.

Оскільки тривалість простоїв з технічних причин ( $T_p$ ) – величина випадкова, середній час простою комбайна через відмову можна представити у вигляді:

$$T_p = T \cdot \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-1} - \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-2} \cdot (1 - e^{-(\lambda + \mu) \cdot T}), \quad (6)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов зернозбирального комбайна за період збирання  $T$ , 1/год;

$\mu$  – інтенсивність відновлення зернозбирального комбайна за період прибирання  $T$ , 1/год.

Для визначення величини  $\lambda$  і  $\mu$  необхідно знати напрацювання на відмову, середній час відновлення та фактори, що на них впливають.

У загальному випадку час відновлення є величиною випадковою і залежить від складності вузла, агрегату, деталі, наявності запасних частин, інструменту, організації процесу відновлення, що відмовив. Його можна визначити на підставі статистичного матеріалу за формулою:

$$\mu = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n t_{vi} \right)^{-1}, \quad (7)$$

де  $t_{vi}$  – час відновлення працездатності комбайна після  $i$ -ї відмови, год;

$n$  – кількість відмов у період прибирання.

Експериментальні дослідження показали, що закон розподілу часу відновлення близький до експоненціального, а ймовірність попиту на запасні частини розподіляється за Пуассонівським законом.

Напрацювання на відмову є основною величиною, що характеризує надійність машини, і визначається з виразу:

$$\lambda = n \cdot \left( \sum_{i=1}^n t_{si} \right)^{-1}, \quad (8)$$

де  $t_{si}$  – напрацювання комбайна до  $i$ -ї відмови, год.

Значення  $\lambda$  і  $\mu$  є оберненими величинами напрацювання на відмову та часи відновлення. В остаточному вигляді вартість втрат урожаю з технічних причин визначається як:

$$Z_5 = Z_{5i} \cdot \left[ T \cdot \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-1} - \lambda \cdot (\lambda + \mu)^{-2} \cdot (1 - e^{-(\lambda + \mu) \cdot T}) \right], \quad (9)$$

Підставивши значення складових витрат у формулу (2), для зернозбиральних комбайнів різних марок можна визначити питомі сумарні витрати на збирання 1 га або 1 т бункерної ваги і потім їх порівнянням визначити марки найбільш ефективних комбайнів.

Другий етап завдання виконувався в такий спосіб. Від рівня експлуатаційної надійності окремих комбайнів, як компонентів парку, залежить експлуатаційна надійність усього комбайнового парку сільськогосподарського підприємства, що безпосередньо впливає на строки збирання врожаю.

При цьому можливі такі ситуації:

– простої через технічно ненадійні комбайни призводять до затягування збирання та збільшення втрат урожаю;

– споживачі змушені утримувати більш численний парк машин, щоб компенсувати зниження темпів робіт (через відмови з технічних причин);

– споживачі у разі недостатньої кількості машин можуть залучити їх з боку (з сусідніх господарств, на основі оренди, прокату та інших форм тимчасового використання техніки).

Однак для споживача кращий варіант, коли парк комбайнів господарювання укомплектований раціональним способом. Тому при придбанні нових комбайнів постає завдання вибору найефективнішого комбайна та впливу його на показники роботи парку загалом. Для споживача такими показниками є період збирання та коефіцієнт готовності, що безпосередньо на нього впливає. Виходячи з умови виконання прибирання в агротехнічні терміни, з урахуванням коефіцієнта готовності комбайнового парку та ефективності окремих комбайнів, розглянуто наведені вище три ситуації з метою раціонального комплектування комбайнового парку господарства.

Програма експериментальних досліджень включала виконання наступних етапів:

- вибору місця проведення експериментальних досліджень та його характеристика;
- визначення кількості об'єктів спостережень;
- збору інформації про відмови зернозбиральних комбайнів та часу простоїв з технічних причин;
- обробки експериментальних даних;
- оцінки похибки економіко-економічної моделі ефективності зернозбиральних комбайнів;
- вибору зернозбиральних комбайнів під час комплектування парку господарства з урахуванням безвідмовності.

Під час проведення досліджень у роботі використовувалися методи теорії ймовірностей, теорія надійності, дисперсійний аналіз, статистичні методи збирання та обробки експериментальних даних.

При виборі місця проведення експериментальних досліджень прийнято до уваги такі умови: природно-кліматичні; чисельність зернозбиральних комбайнів за марками; класність механізаторів; сезонне напрацювання зернозбиральних комбайнів. Ці показники мають бути близькими до середньообласних. Виходячи з цих умов, обрано Черкаську область. Вона має необхідну матеріально-технічну базу та відповідає іншим пред'явленим вимогам для обґрунтування безвідмовності спостережуваних зернозбиральних комбайнів.

Для обґрунтування їхньої безвідмовності було обрано 84 комбайни. У структурі комбайнового парку Черкаської області комбайни цих марок становлять 97%. При виборі комбайнів для спостережень основними критеріями послужили їх вік та сталість роботи на них механізаторів. Ці показники також близькі до середньообласних. По кожному комбайну проводився збір вихідної інформації з розробленої картки спостережень. Обробка зібраної інформації проводилася методами математичної статистики. При цьому визначався середній наробіток на відмову та середній час усунення наслідків відмови за всіма однойменними деталями, вузлами та агрегатами зернозбиральних комбайнів. Кількість хронометражних спостережень за часом простоїв з технічних причин

визначено за умови отримання достовірних статистичних величин і складала 24. Для вимірювання сполучення деталей, вузлів і агрегатів, що відмовили, застосовувався універсальний вимірювальний інструмент і спеціальне обладнання мобільних агрегатів для проведення технічного обслуговування. Реалізацію економіко-математичної моделі проведено з використанням розроблених програмно-алгоритмічних та інформаційних засобів.

Розрахунки з оцінки ефективності комбайнів виконані серед електронної таблиці Microsoft Excel. Зважаючи на те, що загальна кількість усіх змінних, використовуваних у моделі, як вихідної інформації, при підрахунку її складових понад 30, вони об'єднані в такі змістовні блоки-форми: «Господарство», «Комбайн», «Константи».

У середовищі електронної таблиці для зручності оперування величинами, що змінюються (перемінними), по кожній компоненті формули введені спеціальні таблиці, які називаються в середовищі «Лист». За цими величинами визначалися сумарні питомі витрати щодо кожного зернозбирального комбайна, що входить до складу вибірки комбайнового парку певних господарств. Проведено оцінку похибки економіко-математичної моделі для визначення ефективності зернозбиральних комбайнів шляхом порівняння за двома вибірками значень питомих сумарних витрат, отриманих за моделлю та фактичних (експериментальних).

У таблиці 1 наведено дані щодо розподілу відмов (у кількісному та в %-му виразі) по основним агрегатам та вузлам зернозбиральних комбайнів, що перебували під наглядом.

Напрацювання на відмову з зернозбиральних комбайнів наведено в таблиці 2. При цьому середній час відновлення комбайнів при виникненні відмов становив 3,6 год.

Як видно, зернозбиральні комбайни з вторинного ринку за надійністю значно поступаються новим. На рис. 1–3 наведено залежність періоду збирання, часу простоїв з технічних причин та надійності комбайнового парку від кількості зернозбиральних комбайнів у господарстві.

Таблиця 1

**Розподіл відмов по основним вузлам та агрегатам зернозбиральних комбайнів (шт., %)**

Агрегати, вузли	Розподіл відмов зернозбиральних комбайнів за класами, %						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Жнивarka, похила камера	16/15,8	41/47,7	25 / 50	31/29,5	5/10,9	8/36,4	0
Молотилка, подрібнювач	44/43,6	23/26,7	15/30	11/10,5	10/21,7	5/22,7	3/60
Двигун	24/23,8	3/3,5	4/8	15/14,3	9/19,6	1/4,5	0
Трансмісія та ходова частина	7/6,9	0	0	12/11,4	2/4,3		0
Гідросистема, електрогідропривід, електрообладнання	10/9,9	19/22,1	6/12	36/34,3	20/43,5	8/36,4	2/40

Таблиця 2

**Напрацювання на відмову зернозбиральних комбайнів, год.**

	Зернозбиральний комбайн за класами						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Напрацювання на відмову, год.	30	50	100	120	210	220	250

Залежності одержано за формулою (1) для господарства, що має загальний обсяг робіт 10 000 га, агротехнічний термін проведення збирання – 14 днів, тривалість робочого дня – 18 годин. З рис. 1 випливає, що в агротехнічні терміни прибирання буде виконано за наявності 24 комбайнів у господарстві, а за більшої кількості комбайнів буде проведено у ще більш стислий термін.

З рис. 2 видно, що збирання буде проведено в агротехнічні терміни 24 комбайнами з простоями, що не перевищують 1,24 год, 25 комбайнами з простоями, що не перевищують 1,9 год.

Рис. 3 слід трактувати так, що для виконання збирання в агротехнічні терміни коефіцієнт готовності комбайнового парку при 24 шт. не повинен бути нижчим за 0,92, при 25 шт. – не нижче 0,88. При 29 комбайнах – не нижче 0,76.

Отримано графіки залежності питомих сумарних витрат за кожною маркою комбайнів від їх основних показників та характеристик: напрацювання на відмову

та часи відновлення, що характеризують їх надійність з позиції безвідмовності та ремонтпридатності, а також інших показників, що впливають на їх ефективність: балансової вартості комбайнів, терміну експлуатації, ціни реалізації продукції, врожайності культури та тривалості збирання.

Залежно, наведені на рис. 1–4, отримані за економіко-математичною моделлю при змінних тільки по осі абсцис і постійних значеннях інших змінних. При розрахунках для конкретного господарства природно всі значення будуть приведені стосовно того господарства.

Використовуючи інформацію, наведену цих графіках, господарства мають можливість формувати раціональний парк зернозбиральних комбайнів з урахуванням своєї специфіки.

Похибка економіко-математичної моделі, визначена шляхом порівняння розбіжностей між сукупностями двох вибірок питомих сумарних витрат, одержаних розрахунковим методом та експериментально становила 10,95%.

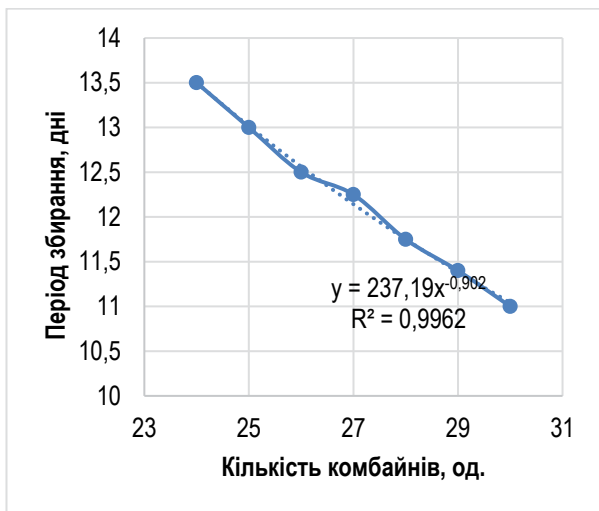


Рис. 1. Залежність періоду збирання кількості зернозбиральних комбайнів

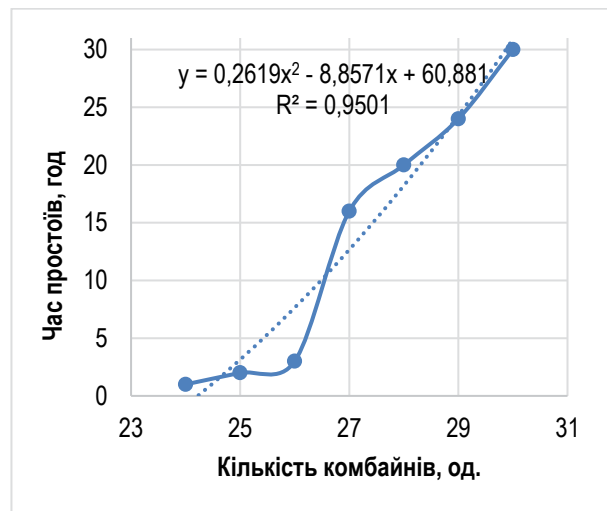


Рис. 2. Залежність часу простоїв з технічних причин від кількості зернозбиральних комбайнів

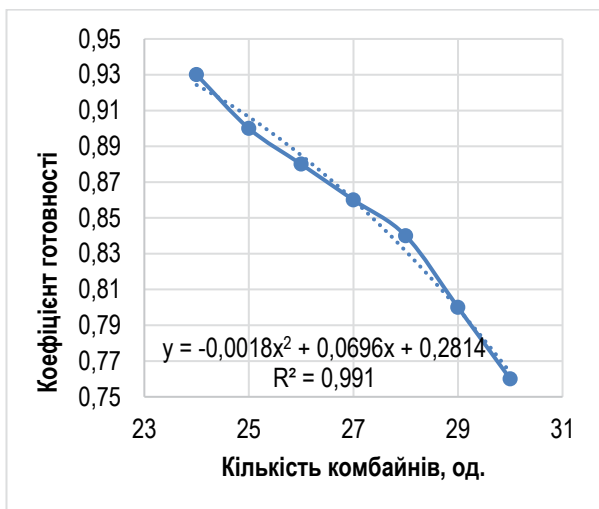


Рис. 3. Залежність коефіцієнту готовності від кількості зернозбиральних комбайнів

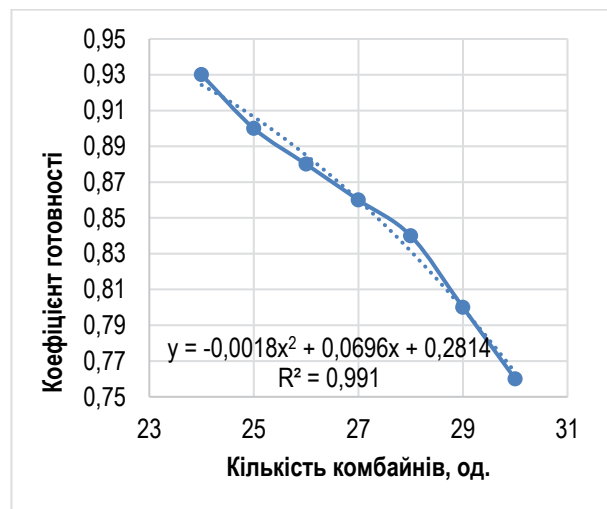


Рис. 4. Залежність коефіцієнту готовності від кількості зернозбиральних комбайнів

**Обговорення.** Виявлено, що основним показником надійності зернозбиральних комбайнів є безвідмовність, від якої залежить їхня ефективність (Nazarenko et al., 2021). З проведеного аналізу досліджень випливає, що скорочення парку зернозбиральних комбайнів призводить до збільшення навантаження на одиницю техніки в 1,5–2,8 раза та призводить до випередження списання порівняно з надходженням у 2,3–5 разів (Rogovskii et al., 2021b). Перевищення фактичних термінів експлуатації машин над нормативними та значний фактичний термін служби та знос позначаються на ефективності зернозбиральних комбайнів, що застосовуються (Hrynkiv et al., 2020). Підвищення їхньої ефективності можна забезпечити підвищенням безвідмовності агрегатів та вузлів та комбайнів загалом. При надлишку комбайнів прибирання може бути проведене в агротехнічні терміни навіть за зниженого коефіцієнта їхньої готовності. Так, при надлишку кількості комбайнів на 25% прибирання може бути проведене навіть за зниження коефіцієнта готовності на 23,1%, а при недоукомплектуванні комбайнового парку на 25%, його

коефіцієнт готовності має бути підвищений на 28,9%, проти його нормативним значенням, тобто. потрібно або підвищувати надійність комбайна (напрацювання на відмову) або доукомплектувати комбайновий парк господарства (Yata et al., 2018). В іншому випадку прибирання затягуватиметься.

**Висновки.** Встановлено, що при комплектуванні комбайнового парку новими комбайнами перед господарством постає завдання вибору найефективнішого комбайна та вплив його на показники роботи парку загалом. Для споживача такими показниками є період (тривалість) прибирання та надійність комбайна, що визначається через напрацювання на відмову та впливає безпосередньо на коефіцієнт готовності парку. При оптимальній кількості комбайнів для господарства, що дорівнює 24, середній час простоїв (з технічних причин) становив 3,6 год, а при надлишку комбайнів більше 24, можуть бути допущені простої комбайнів за технічними характеристиками. Напрацювання на відмову складо: за вітчизняними комбайнами 10–50 годин порівняно зі 100–250 у імпортих.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Astashev, V. & Krupenin, V. (2017). Efficiency of vibration machines. *Engineering for Rural Development*, 16: 108–113. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108133>.
2. Carter, J., Petersenn, R. & Cochran, B. (2015). Designing exhaust systems to minimize energy costs. *Ashrae Journal*, 47(7): 18–22.
3. Drga, R., Janacova, D. & Charvatova, H. (2016). Simulation of the PIR detector active function. *Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016)*, July 14–17, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboouf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, 76: UNSP 04036.
4. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., Covi, D., Yezekyan, T. & Marinello, F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*, 19: 158–163.
5. Forgó, Z., Tolvaly-Ros, ca F., Pásztor, J. & Kovari, A. (2021). Energy consumption evaluation of active tillage machines using dynamic modelling. *Application Science*, 11: 6240. <https://doi.org/10.3390/app11146240>.
6. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
7. Kuzmich, I. M., Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Nadochiy, O. V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677: 052002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
8. Liu, Z., Cao, S. & Sun, Z. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11: 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
9. Luo, A. C. J. & Guo, Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag: 213.
10. Masek, J., Novak, P. & Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Engineering for Rural Development*, 16: 1180–1185. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118135>.
11. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
12. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, 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*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
13. Novotny, J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Engineering for Rural Development*, 15: 16–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.239292>.
14. Palamarchuk, I., Rogovskii, I., Titova, L. & Omelyanov, O. (2021). Experimental evaluation of energy parameters of volumetric vibroseparation of bulk feed from grain. *Engineering for Rural Development*, 20: 1761–1767. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF386>.
15. Pinzi, S., Cubero-Atienza, A. J. & Dorado, M. P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 266(3): 407–441.
16. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021a). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 720: 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.

17. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021b). Modeling of normativity of criteria of technical level of forage harvesters combines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 720: 012109. [https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/720/1/012109](https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012109).
18. Rogovskii, I. L. & Titova, L. L. (2021c). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677: 022100. [https://doi.org/ 10.1088/1755-1315/677/2/022100](https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022100).
19. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
20. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021d). Conceptual bases of system technology of designing of logistic schemes of harvesting and transportation of grain crops. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 723: 032032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032032>.
21. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021e). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
22. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskyi, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. Engineering for Rural Development, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
23. Rogovskii, I. L. (2020). Model of stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine in inertial systems with delay. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 11(3): 143–150.
24. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Engineering for Rural Development, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
25. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
26. Sergejeva, N., Aboltins, A., Strupule, L. & Aboltina, B. (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Engineering for Rural Development, 17: 1166–1172. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N451>.
27. Viba, J. & Lavendelis, E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia: 95–98.
28. Yata, V. K., Tiwari, B. C. & Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, 16: 79–84.
29. Zagurskiy, O., Ohienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L. & Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland: 64–74.

**Kuzmich I. M.**, Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
**Operating costs in process of maintenance by storing grain harvesting combiners**

*In the article, the author presents the results of substantiation of the main indicator of the reliability of combine harvesters – failure-free operation, which affects the indicators of their effective machine use, based on the conditions of the technological process in agrotechnical terms, taking into account the minimization of all costs associated with the operation of combine harvesters.*

*Methodical prerequisites for the development of an economic-mathematical model are presented, the criteria for evaluating the efficiency of grain harvesters are substantiated, the model is developed and the influence of the choice of individual grain harvesters on the efficiency of the harvester park of the agricultural enterprise as a whole is given. To evaluate the efficiency of grain harvesters according to the economic-mathematical model, we accept the minimum specific total costs as a criterion that most objectively reflects all components of costs associated with the operation of grain harvesters. The task is solved in two stages: an evaluation of the efficiency of individual grain harvesters by brands is carried out, taking into account the main indicators of their reliability and other indicators; the efficiency of the farm's harvester park is evaluated when it is equipped with harvesters of various models.*

*The work shows that the implementation of technological processes of grain harvesting in agrotechnical terms largely depends on machine downtimes due to failures due to technical reasons, which determine the level of reliability of grain harvesters. On the other hand, knowing the level of machine reliability, it is possible to establish the optimal operation of service services and prevent violations of the execution of technological works in agrotechnical terms. The article presents the results of the substantiation of the economic-mathematical model, which takes into account and allows evaluating the efficiency of grain harvesters according to a well-founded criterion – the total specific costs per one hectare of harvesting area, or one ton of threshed grain, taking into account the working time for rejection and drawing conclusions based on this on the effectiveness of grain harvesters.*

**Key words:** reliability, costs, preservation, efficiency, combine.