

## ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ І РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО МАШИНОВИКОРИСТАННЯ

**Тітова Людмила Леонідівна**

кандидат технічних наук, доцент

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

ORCID: 0000-0001-7313-1253

[l\\_titova@nubip.edu.ua](mailto:l_titova@nubip.edu.ua)

**Надточій Олександр Васильович**

кандидат технічних наук, доцент

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

ORCID: 0000-0002-4985-9313

[o.nad@ukr.net](mailto:o.nad@ukr.net)

*В статті сформульовані методичні підходи інженерного менеджменту щодо підтримання працездатності зернозбиральних комбайнів, для яких протягом всього періоду експлуатації це пов'язане із ускладненням їх будови за рахунок використання автоматизованих і гідравлічних пристроїв, електроніки, збільшення продуктивності акцентує значимість відмови комбайна з технічних причин. За існуючого розвитку механізації сільськогосподарського виробництва, на авторський погляд, має базуватися на двох рівно важливих моментах, а саме зростанні об'ємів продукції агропромислового комплексу та раціональній зниженні її собівартості. Комплектування комбайнового парку господарств вітчизняними чи зарубіжними машинами має проводитися із врахуванням цих факторів, а також інших вимог сьогодення.*

*Авторами розроблена методика оцінювання ефективності зернозбиральних комбайнів за двома критеріями надійності, а саме показниками безвідмовності і ремонтпридатності, за питомими сумарними затратами на гектар площі збирання врожаю зернових сільськогосподарських культур. При цьому процес машиновикористання зернозбирального комбайна розглядається у вигляді системи масового обслуговування, де у якості апарату розглядається саме збиральна машина, від якої поступає потік відмов, що змушують техніку простоювати.*

*В статті отримано порівняльні залежності питомих сумарних затрат від зазначених показників надійності, що характеризуються наробітком на відмову, часом відновлення та інших показників, що впливають на їх ефективність: балансової вартості комбайна, терміну експлуатації, вартості реалізованої продукції, урожайності культури і тривалості жнив на прикладі зернозбирального комбайна Class Mega-370. Отримано залежність, яка показує, що жнива триватимуть 14 днів за допомогою 24 зернозбиральних комбайнів з простоями, що не перевищують 1,24 години, чи 25 зернозбиральними комбайнами з простоями 1,9 години.*

*Отримані результати, як перспектива подальших досліджень, можуть бути використані аграрними господарствами при комплектуванні комбайнового машинного парку як вітчизняними так і імпортованими моделями зернозбиральних комбайнів.*

**Ключові слова:** безвідмовність, ремонтпридатність, урожайність, наробіток на відмову, надійність, втрати урожаю, критерії.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.11>

**Постановка проблеми.** Існуюча сільськогосподарська техніка, не дивлячись на її постійне удосконалення, потребує підтримання працездатності на протязі усього періоду функціонування (Pisarenko et al., 2019). Це досягається виконанням великого об'єму ремонтно-обслуговуючих дій (Shih-Heng et al., 2018), які при зростанні технічного оснащення (Kurpis et al., 2016), ускладнення технічних засобів та використання автоматизованих пристроїв суттєво зростають (Hrynkiv et al., 2020). З підвищенням продуктивності зростає і значимість кожної відмови (Gurcanli et al., 2015), що в умовах комплексного використання техніки веде до простоїв залежних до неї машин (Xi & Songlin, 2019), порушенню технологічних процесів (Nazarenko et al., 2021), втратам чи погіршенню якості продукції (Aven, 2016). Повною мірою це стосується зернозбиральних комбайнів, які постійно працюють в комплексі додаткових машин (Kuzmich et al., 2021), що забезпечують виконання процесу збирання (Nadtochiy & Titova, 2018).

Забезпечення постачання зернозбиральних комбайнів до України займаються 8 фірм (Rogovskii et al., 2021b), які забезпечують 96% модифікацій (Voinalovych et al., 2019). Окрім того, різні заводи виробники що виготовляють вітчизняні зернозбиральні комбайни різних модифікацій (Nazarenko et al., 2020), що також збільшує їх номенклатуру (Yezekyan et al., 2020). Це ускладнює вибір зернозбиральних комбайнів для експлуатації в конкретних господарствах (Zubko et al., 2022).

Розвиток механізації сільськогосподарського виробництва, на наш погляд, має базуватися на двох рівно важливих моментах – зростанні об'ємів продукції агропромислового комплексу (Khamidullina et al., 2017) та зниженні її собівартості (Corinne & José 2017). Комплектування комбайнового парку господарств вітчизняними чи зарубіжними машинами має проводитися із врахуванням цих факторів (Nykyforchyn et al., 2019), а також інших вимог сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Глибокі дослідження оцінки ефективності вітчизняних і зарубіжних аналогів зернозбиральних комбайнів ведуться у провідних закладах вищої освіти та науково-дослідних інститутах Європи (Chen et al., 2020) та Північної Америки (Erokhin et al., 2019).

Насправді часто під час оцінки ефективності вітчизняних і зарубіжних аналогів зернозбиральних комбайнів заявки послідовно проходять не одну, а кілька систем масового обслуговування (Rogovskii et al., 2021a). Сукупність таких систем теорії масового обслуговування прийнято називати мережею масового обслуговування чи стохастичною мережею (Zou et al., 2017). Відомо безліч більш менш складних мереж масового обслуговування (Rejovitzky et al., 2013), які характеризуються структурою, тобто зв'язками, існуючими між системами, складовими мережу, і властивостями самих систем (Guansah et al., 2020).

Оптимізація мережі технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів зводилася раніше до вирішення питань пошуку оптимальної потужності та режимів роботи окремих систем при заданому постійному технологічному процесі обслуговування (Rogovskii, 2020). Однак у ряді випадків і самі технологічні процеси обслуговування попередньо можуть бути оптимізовані, для чого, як правило, потрібна побудова більш детальних алгоритмів, що моделюють (Nazarenko et al., 2020). Однак критерії оцінки вибору збиральних машин із врахуванням параметрів їх надійності (Rogovskii et al., 2019), що забезпечують ефективність функціонування парку в цілому (Sánchez-Hermosilla et al., 2011), як системи, відсутні, їх можна віднести до розряду умов, придатних лише для орієнтовної якісної оцінки (Tyutrin, 2019). При цьому успіх вирішення задач прогнозування розвитку технічних систем залежить перш за все від наукової обґрунтованості методу вирішення (Najafi et al., 2015), що є дуже актуальним.

**Метою досліджень** є розробка методики оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів при комплектуванні парку господарства різними вітчизняними і зарубіжними комбайнами.

**Результати досліджень.** Об'єктом дослідження є процес функціонування зернозбиральних комбайнів основних марок, які використовуються в Київській області. При виконанні досліджень використовувалися методи аналізу і синтезу виробничих процесів, теорії ймовірностей, теорії масового обслуговування, математичного моделювання та теорії надійності машин. Дослідження проводилися в Білоцерківському районі Київської області.

Для оцінки ефективності окремого зернозбирального комбайна за економіко-математичною моделлю в якості критерію оцінки його ефективності приймалися питомі сумарні затрати на збирання зернових, які можна подати у вигляді:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{А}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{ПММ}} + C_{\text{ТОР}} + C'_{\text{ВУ}} + C'_{\text{БВУ}} + C'_{\text{ТО}} + C'_{\text{П}} \rightarrow \min \quad (1)$$

де  $C_{\text{п}}$  – питомі сумарні витрати на збирання урожаю, грн/га;

$C_{\text{А}}$  – амортизаційні відрахування, грн/га;  
 $C_{\text{ЗП}}$  – заробітна плата комбайнера та допоміжних працівників, грн/га;

$C_{\text{ПММ}}$  – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;  
 $C_{\text{ТОР}}$  – затрати на технічне обслуговування і ремонт, грн/га;

$C'_{\text{ВУ}}$  – вартість втрат урожаю комбайном, грн/га;

$C'_{\text{БВУ}}$  – вартість біологічних втрат урожаю із-за триваліших термінів жнив, грн/га;

$C'_{\text{ТО}}$  – вартість втрат урожаю з технічних причин, грн/га;

$C'_{\text{П}}$  – затрати на відрахування та податки, грн/га.

Детальний опис економіко-математичної моделі приведено в роботі [6].

Особливістю цієї моделі є те, що в ній враховано загальні втрати урожаю, які включають втрати безпосередньо за зернозбиральним комбайном ( $C'_{\text{ВУ}}$ ), внаслідок його технічного стану, від біологічних втрат урожаю ( $C'_{\text{БВУ}}$ ), які залежать від культури та термінів жнив та втрат з технічних причин ( $C'_{\text{ТО}}$ ) із за простоїв комбайнів по причині відмов. Зупинимось на визначенні втрат урожаю більш детально, оскільки перші чотири складники формули (1) не викликають ускладнень.

При проведенні державних випробувань нових зернозбиральних комбайнів встановлені нормативні втрати в межах 2,5–3% (для розрахунків приймаємо середнє значення 2,75%). Вони складаються із втрат за жаткою внаслідок негерметичності, від недомолоту і наявності вільного зерна в соломі (за клавшами) та полові (за очисткою).

Вартість цих втрат ( $C'_{\text{ВУ}}$ ) для різних марок зернозбиральних комбайнів напишемо у вигляді виразу:

$$C'_{\text{ВУ}} = k_{\text{КОМ}} \cdot U_{\text{З}} \cdot \Pi_{\text{З}}, \quad (2)$$

де  $k_{\text{КОМ}}$  – коефіцієнт втрат за комбайном;

$U_{\text{З}}$  – біологічна урожайність зерна, ц/га;

$\Pi_{\text{З}}$  – закупівельна ціна продукції, грн/ц.

Вартість біологічних втрат урожаю ( $C'_{\text{БВУ}}$ ) визначаємо за формулою:

$$C'_{\text{БВУ}} = \frac{k_{\text{Б}} \cdot U_{\text{max}} \cdot \Pi_{\text{З}} \cdot k_{\text{ПД}} \cdot S_{\text{Г}}}{W_{\text{Д}}}, \quad (3)$$

де  $U_{\text{max}}$  – максимальна урожайність в період повного дозрівання пшениці, ц/га;

$k_{\text{ПД}}$  – коефіцієнт втрат за період повного дозрівання пшениці, %;

$k_{\text{Б}}$  – коефіцієнт біологічних втрат урожаю;

$W_{\text{Д}}$  – денна продуктивність комбайну, га.

Вартість втрат урожаю з технічних причин ( $C'_{\text{ТО}}$ ) (простої комбайнів із за відмов) за період жнив  $T$  складе:

$$C'_{\text{ТО}} = C_{\text{ПР}} \cdot T_{\text{ПР}} \quad (4)$$

де  $C_{\text{ПР}}$  – вартість години простою комбайна за період  $T$ , грн/год.;

$T_{\text{ПР}}$  – час простою комбайна за період  $T$ , год.

В роботі [6] вартісні втрати від недоотримання урожаю, за рахунок триваліших термінів збирання, пов'язаних із відмовами з технічних причин визначені за залежністю:

$$C_{TO}^* = k_B \cdot U_{opt} \cdot C_3 \cdot D. \quad (5)$$

де  $k_B$  – коефіцієнт врахування втрат продукції при затягуванні термінів виконання робіт від оптимального моменту на одиницю часу;

$D$  – відхилення виконання роботи від оптимального агротехнічного терміну з технічних причин, днів;

$U_{opt}$  – значення урожайності, що може бути отримане при виконанні роботи в агротехнічні терміни, ц/га.

Розглянемо процес роботи зернозбирального комбайна у вигляді системи масового обслуговування, де у якості апарату розглядається машина, від якої поступає потік відмов, що змушують техніку простоювати [3].

Тоді, зважаючи на випадковість величини простоїв з технічних причин ( $T_{пр}$ ) середній час простою зернозбирального комбайна із за відмов можна визначити за залежністю:

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

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

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

Для визначення величини  $\lambda$  і  $\mu$  необхідно знати наробіток на відмову, середній час відновлення і фактори, що впливають на ці показники.

В загальному час відновлення є величиною випадковою і залежить від складності вузла, агрегату, деталі, яка відмовила, наявності запасних частин, інструменту, організаційних моментів щодо усунення відмови, тощо. Його можна визначити на основі статистичного матеріалу за залежністю:

$$T_{RES} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{resi}}{m}, \quad (7)$$

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

$m$  – кількість відмов за період жнив.

Згідно з експериментальними дослідженнями, закон розподілу часу відновлення близький до експоненціального, а вірогідність попиту на запасні частини розподіляються за пуасонівському закону розподілу.

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

$$T_{REF} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{refi}}{m} \quad (8)$$

де  $t_{refi}$  – наробіток комбайна до  $i$ -ї відмови.

Значення  $\lambda$  і  $\mu$  є оберненими величинами наробітку на відмову і часу відновлення, тобто:

$$\lambda = \frac{1}{T_{REF}} \quad (9)$$

$$\mu = \frac{1}{T_{RES}} \quad (10)$$

Так як величина  $D$  (5) є значенням простоїв машини, що визначене за (6) після підстановки в (5) отримуємо:

$$C_{TO}^* = k_B \cdot U_{opt} \cdot C_3 \left[ \frac{T\lambda}{\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)^2} \left( 1 - e^{-\left(\frac{\lambda + \mu}{T}\right)} \right) \right], \quad (11)$$

Витрати на відрахування і податки ( $C_{п}^*$ ) містять: затрати на соціальні відрахування ( $З_{соц}$ ), страхування техніки ( $З_{стр}$ ), податки ( $H_{п}$ ), непрямі затрати ( $З_{н}$ ) і визначається:

$$C_{п}^* = З_{соц} \cdot З_{стр} \cdot H_{п} \cdot З_{н}. \quad (12)$$

Значення  $З_{соц}$  визначається досить просто:

$$З_{соц} = З_{н} \cdot \epsilon_{св} \quad (13)$$

де  $\epsilon_{св}$  – єдиний соціальний внесок (з 2016 – 22%);

Затрати на страхування ( $H_{п}$ ):

$$З_{cmp} = \frac{Ц_{\sigma} H_{cmp}}{100 \cdot S_{г}}. \quad (14)$$

де  $H_{стр}$  – норма страхування за год у % від балансової вартості.

Сума податків ( $H_{п}$ ) визначаємо за формулою:

$$H_{п} = H_{ди} \cdot H_{Е} \cdot H_{Т}. \quad (15)$$

де  $H_{ди}$  – податкові збори, які стягуються Держтехнаглядом за реєстрацію машин, видачу номерного знаку та паспорта, а також на щорічне проходження техогляду, грн;

$H_{Е}$  – екологічний збір, грн;

$H_{Т}$  – транспортний збір, грн.

Суму кожного з податків визначають відповідно до діючих нормативних актів. Величину податку ( $H_{п}$ ) на одиницю роботи визначають виходячи із середньорічного наробітку комбайна і середньої величини податків.

Непрямі ( $З_{н}$ ) включають в себе загальнопромислові ( $P_{зв}$ ) і загальногосподарські витрати ( $P_{зг}$ ), які приблизно можна визначити за формулами:

$$P_{зв} = (0,3 \dots 0,8) З_{н} \quad (16)$$

$$P_{зг} = (0,1 \dots 0,5) З_{н} \quad (17)$$

Підставивши значення складників затрат у формулу (1), можливо визначити питомі затрати на збирання 1 га чи 1 т бункерної маси для зернозбиральних комбайнів різних марок і порівняти отримані дані для визначення найбільш ефективного комбайна.

Для забезпечення економіко-математичної моделі були введені наступні обмеження:

$$T_{min} \leq T_{\phi} \leq T_{max} \text{ – (тривалість жнив);}$$

$$U_{Nmin} \leq U_N \leq U_{Nmax} \text{ – (урожайність культури);}$$

$$\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max} \text{ – (інтенсивність відмов);}$$

$$\mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max} \text{ – (час усунення відмов);}$$

$$C_{min} \leq C \leq C_{max} \text{ – (закупівельна ціна продукції);}$$

$$B_{Kmin} \leq B_K \leq B_{Kmax} \text{ – (балансова вартість комбайна);}$$

$$T_{Emin} \leq T_E \leq T_{Emax} \text{ – (термін експлуатації (вік) комбайна).}$$

байна).

Приведена розроблена методика оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів із врахуванням їх надійності реалізована на прикладі парку комбайнів Київської області (табл. 1). При цьому середній час відновлення комбайнів склав 3,6 годин.

Таблиця 1

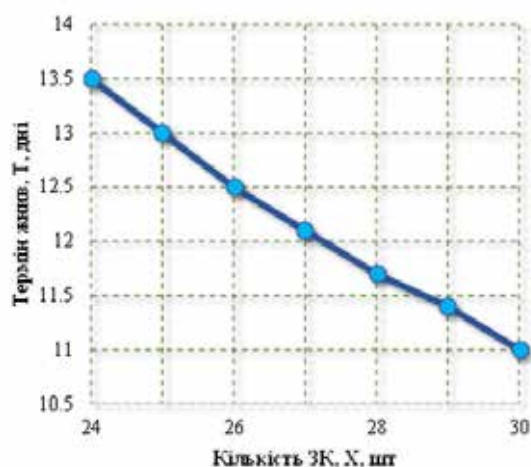
**Наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів (в годинах) в 2021 році**

Єнісей-1200	11
PCM-101 «Вектор»	21
Acros-540	28
Палесьє GS12A1	44
Славутич КЗС-9М	90
Class Mega-370	110
Tiscano-450	210
Lexion-570	220
John Deere-9660	250

Порівнюючи отримані дані (табл. 1) відразу можна відмітити, що комбайни закордонного виробництва мають набагато вищі показники надійності.

На рис. 1 – рис. 3 приведені залежності періоду збирання, часу простоїв з технічних причин і надійності парку комбайнів від кількості зернозбиральних комбайнів у господарстві.

Залежності отримані для господарства з об'ємом робіт більше 10000 га, агротехнічний термін жнив 14 днів, а тривалість зміни складала 18 год. Рис. 1 пока-



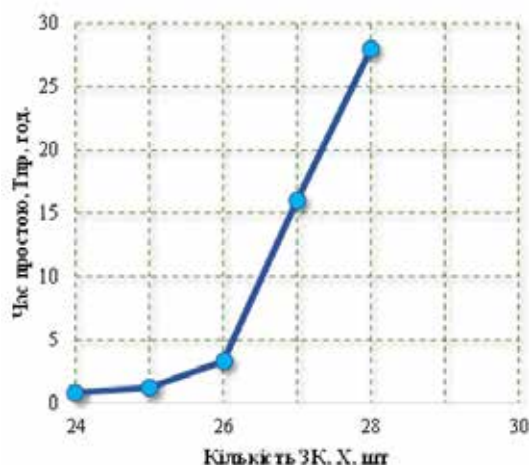
**Рис. 1. Залежність терміну жнив від кількості зернозбиральних комбайнів (ЗК)**

зує, що збирання в агротехнічний термін можливе при наявності в господарстві 24 комбайнів, а при більшій їх кількості цей термін стискається, що дозволяє уникнути втрат зерна із-за осипання.

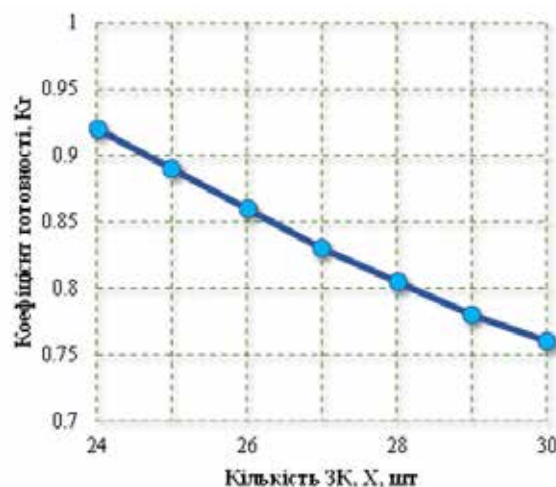
Залежність на рис. 2 показує що жнива триватимуть 14 днів за допомогою 24 комбайнів з простоями, що не перевищують 1,24 год, чи 25 комбайнами з простоями 1,9 год.

Залежність (рис. 3) слід розуміти наступним чином: для виконання збирання в агротехнічні терміни коефіцієнт готовності комбайнового парку (при 24 комбайнах) має бути не менше 0,92, при 25 комбайнах – не менше 0,88, тощо (при 29 комбайнах – не менше 0,76).

Отримані графіки питомих сумарних затрат по кожній марці комбайнів від їх основних показників і характеристик: наробітку на відмову і часу відновлення, які характеризують їх надійність з позиції безвідмовності і ремонтпридатності, а також інших показників, що впливають на їх ефективність: балансової вартості комбайнів, терміну експлуатації, ціни реалізації продукції, урожайності культури і тривалості жнив.



**Рис. 2. Залежність кількості простоїв з технічних причин від кількості зернозбиральних комбайнів (ЗК)**



**Рис. 3. Залежність коефіцієнта готовності від кількості зернозбиральних комбайнів (ЗК)**

На рис. 4 і рис. 5 приведені залежності питомих сумарних затрат від наробітку на відмову і часу відновлення комбайна Class Mega-370. На рис. 6 – рис. 10 приведені, відповідно, залежності питомих сумарних затрат від

балансової вартості комбайна, терміну його експлуатації, вартості реалізації зерна, урожайності і тривалості жнив.

Залежності приведені на рис. 4-10 отримані за економіко-математичною моделлю при змінних лише по осі

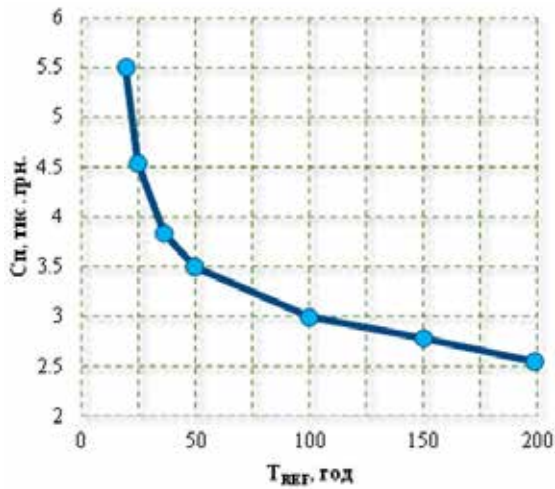


Рис. 4. Залежність питомих простоїв з технічних причин комбайна Class Mega-370

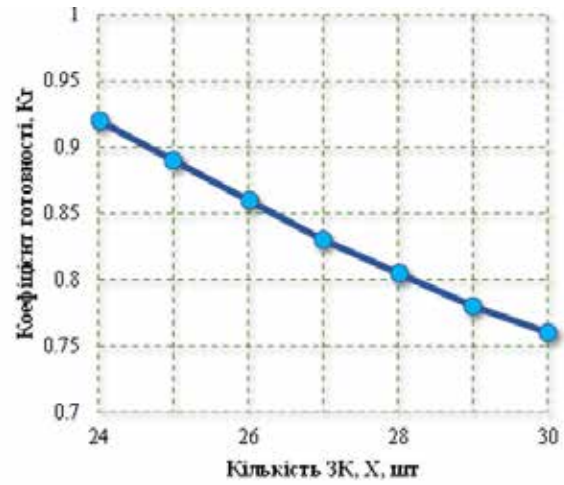


Рис. 7. Залежність питомих сумарних затрат від терміну експлуатації комбайна Class Mega-370

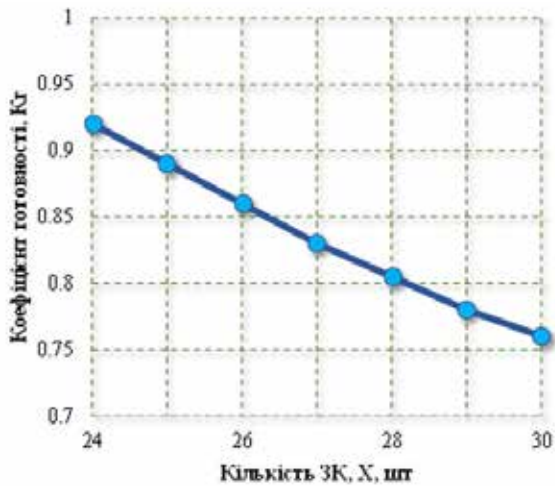


Рис. 5. Залежність питомих сумарних затрат від часу відновлення комбайна Class Mega-370

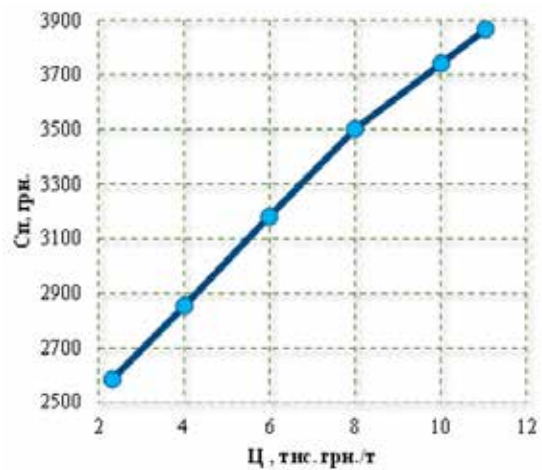


Рис. 8. Залежність питомих сумарних затрат від вартості реалізації продукції комбайна Class Mega-370

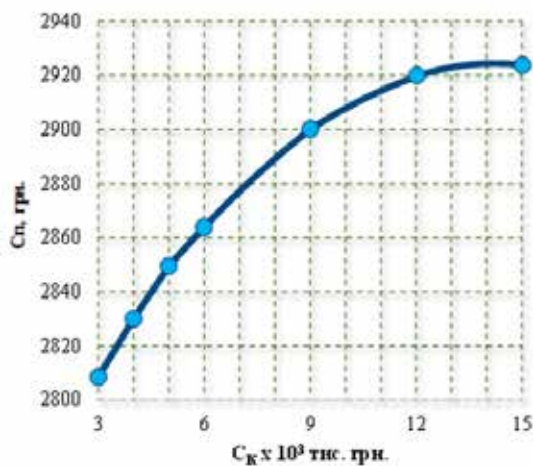


Рис. 6. Залежність питомих сумарних затрат від балансової вартості комбайна Class Mega-370

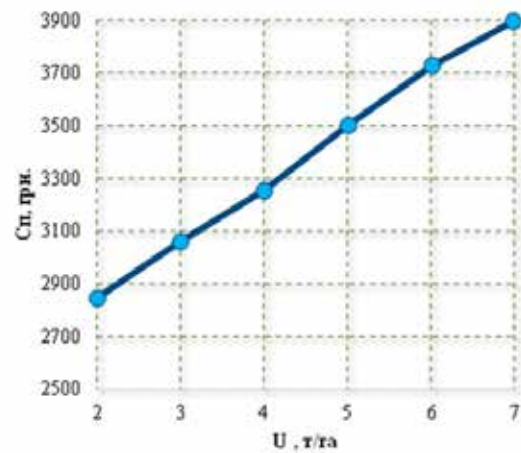
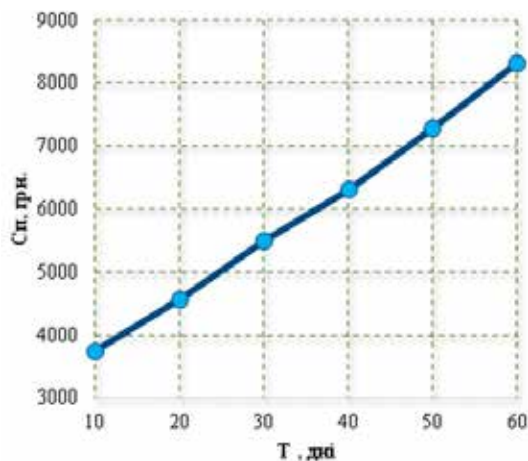


Рис. 9. Залежність питомих сумарних затрат від урожайності комбайна Class Mega-370



**Рис. 10. Залежність питомих сумарних затрат від тривалості жнив комбайна Class Mega-370**

абсцис та постійних величинах всіх інших змінних. Для розрахунків всі значення бралися стосовно конкретного аграрного господарства. Комбайни вітчизняного виробництва (на сьогодні це  $\approx 23\%$ ) парку зернозбиральних комбайнів України по надійності в декілька раз уступають імпортним зернозбиральним комбайнам. Наробіток

у них склав від 70 до 90 годин, а у імпортних – від 100 до 250 годин.

**Висновки.** Розроблена методика оцінки ефективності зернозбиральних комбайнів за питомими сумарними затратами на гектар зібраної площі, що реалізована на основі математико-економічної моделі із врахуванням головних критеріїв надійності комбайнів і інших показників. На основі розробленої методики господарства мають змогу формувати раціональний парк зернозбиральних комбайнів і врахуванням основних показників їх надійності та інших характеристик, зокрема: вартості комбайнів, терміну експлуатації зернозбиральних комбайнів, вартості реалізації продукції, урожайності, тривалості жнив.

Залежності отримані для господарства з об'ємом робіт більше 10000 га, агротехнічний термін жнив 14 днів, а тривалість зміни складала 18 год. показують, що збирання в агротехнічний термін можливе при наявності в господарстві 24 зернозбиральні комбайни, а при більшій їх кількості цей термін стискається, що дозволяє уникнути втрат зерна із-за осипання. При цьому для виконання збирання в агротехнічні терміни коефіцієнт готовності комбайнового парку при 24 комбайнах має бути не менше 0,92, при 25 комбайнах – не менше 0,88, а при 29 комбайнах – не менше 0,76.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research* 253(1): 1–13.
2. Chen, Y., Mao, E., Li, W., & Chen, J. (2020). Design and experiment of a high-clearance self-propelled sprayer chassis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 13(2): 71–80.
3. Corinne, B., & José, R. (2017). Estimating the Hurst parameter. *Statistical Inference for Stochastic Processes*. Springer Verlag, 10(1): 49–73.
4. Erokhin, M., Pastukhov, A., & Kazantsev, S. (2019). Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for rural development* 18: 28–33.
5. Gurcanli, E., Bilir, S., & Sevim, M. (2015). Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science* 80: 1–12.
6. Gyansah, L., & Ansah, A. (2020). Fatigue crack initiation analysis in 1060 steel. *Research journal of applied sciences engineering and technology* 4(2): 319–325.
7. 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 (5(105)): 19–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>
8. Khamidullina, E.A., Timofeeva, S.S., & Smirnov, G.I. (2017). Accidents in coal mining from perspective of risk theory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 262: 012210.
9. Kuzmich, I.M., Rogovskii, I.L., Titova, L.L., & Nadtochiy, 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>
10. Kypris, O., Nlebedim, I., & Jiles, D. (2016). Measuring stress variation with depth using Barkhausen signal. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials – Science Direct* 407: 377–395.
11. Nadtochiy, O. & Titova, L. (2018). Simulation of agricultural processes. *TEKA* 18(2): 39–49.
12. Najafi, P., Asoodar, M., Marzban, A., & Hormozi, M. (2015). Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal* March 17(1)1: 158–165.
13. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryuk, 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. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>
14. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezoviy, 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. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>
15. Nykyforchyn, H., Lunarska, E., & Tsyryllyuk, O. (2019). Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline. *Engineering Failure Analysis* 17: 624–632.
16. Pisarenko, G., Voinalovych, O., Rogovskii, I., & Motrich, M. (2019). Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. *Engineering for rural development* 18: 291–298.

17. Rejovitzky, E., & Altus, E. (2013). On single damage variable models for fatigue. *International Journal of Damage Mechanics* 22(2) 2: 268–284.
18. Rogovskii, I. 2020. Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research* 11(1): 155–162.
19. 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.
20. Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Voinash, S.A., Troyanovskaya, I.P., & Sokolova, V.A. (2021). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 720: 012110. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>
21. Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Gumenyuk Yu.O., & Nadtochiy O.V. (2021). 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. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
22. Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., & Páez, F. (2011). Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground. *Pest Management Science* 67(8): 942–947.
23. Shih-Heng, T., Ming-Hsiang, S., & Wen-Pei, S. (2018). Development of digital image correlation method to analyse crack variations of masonry wall. *Sadhana* 6: 767–779.
24. Tyutrin, S. (2019). Improving reliability of parts of mounted mower according to monitoring results by fatigue gauges from tin foil. *Engineering for rural development* 18: 22–27.
25. Voinalovych, O., Hnatiuk, O., Rogovskii, I., & Pokutnii, O. (2019). Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for rural development* 18: 563–569.
26. Xi, L., & Songlin, Z. (2019). Changes in mechanical properties of vehicle components after strengthening under low-amplitude loads below the fatigue limit. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* 32(10): 847–855.
27. Yezekyan, T., Marinello, F., Armentano, G., Trestini, S. & Sartori, L. (2020). Modelling of harvesting machines' technical parameters and prices. *Agriculture* 10(6): 194–204.
28. Zou, F., Kang, J., Xiao, M., & Ji, G. (2017). Hydrostatic driving system for self-propelled sprayer. *Engineering Journal* 26(3): 12–18.
29. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Koszel, M., & Shchur, T. (2022). Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. *Agricultural Engineering* this link is disabled 26(1): 25–37.

**Titova L. L.**, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Nadtochiy O. V.**, Candidate of Technical Sciences, Assistant of Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Engineering management of influence of performance indicators of reliability and maintainability of grain harvester on efficiency of its machine user**

*The article formulates methodological approaches of engineering management to maintain the efficiency of combine harvesters, for which during the entire period of operation it is associated with the complexity of their structure through the use of automated and hydraulic devices, electronics, increased productivity emphasizes the importance of combine failure for technical reasons. In the current development of mechanization of agricultural production, in the author's opinion, should be based on two equally important points, namely the growth of production of the agro-industrial complex and the rational reduction of its cost. Completion of the combine fleet of farms with domestic or foreign machines should be carried out taking into account these factors, as well as other requirements of today.*

*The authors have developed a method for evaluating the efficiency of combine harvesters on two criteria of reliability, namely indicators of reliability and maintainability, on the specific total cost per hectare of the area harvested of grain crops. The process of machine use of the combine is considered in the form of a queuing system, where the device is considered to be the harvesting machine, from which comes the flow of failures that cause the equipment to stand still. The article obtains comparative dependences of specific total costs on these reliability indicators, which are characterized by failure time, recovery time and other indicators that affect their efficiency: the book value of the combine, service life, cost of sales, crop yields and harvest duration on the example of grain combine Class Mega-370. The dependence is obtained, which shows that the harvest will last 14 days with the help of 24 combine harvesters with downtime not exceeding 1.24 hours, or 25 combine harvesters with downtime of 1.9 hours.*

*The obtained results, as a prospect of further research, can be used by agricultural farms in completing the combine fleet of both domestic and imported models of combine harvesters.*

**Key words:** reliability, maintainability, productivity, time between failures, reliability, crop losses, criteria.