

**МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ  
МЕРЕЖЕЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

Ничай Ігор Миколайович

аспірант

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

ORCID: 0000-0003-3720-5061

nu4aj@ukr.net

*Автором в статті представлено результати обґрунтування основного показника зниження технічної оснащеності аграрного виробництва та надійності функціонування техніки за якої зростає проблема ефективності експлуатації зернозбиральних комбайнів. Відсутність методів оптимізації термінів ремонту та служби зернозбиральних комбайнів з урахуванням різноманіття мінливих факторів не забезпечують достатньої надійності їх використання.*

*Стан зернозбиральних комбайнів у процесі його використання за призначенням під впливом умов функціонування безперервно змінюється. Умови функціонування зернозбиральних комбайнів визначаються: номенклатурою сільськогосподарських робіт на плановий період, природно-кліматичними умовами та умовами технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів. Розроблений метод визначення рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів як комплексного безрозмірного показника умов функціонування дозволяє оцінити стан експлуатації зернозбиральних комбайнів в конкретному господарстві. Рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів характеризується переліком узагальнених та визначальних факторів, що відображають умови технічної експлуатації, диференціацію сільськогосподарських робіт по зернозбиральним комбайнам на плановий період та мають вагомості, величини яких залежать від ступеня впливу природно-кліматичних умов, умов виконання груп робіт та операцій з технічної експлуатації на витрату ресурсу агрегатів техніки. Встановлено, що рівень експлуатації техніки визначається шістьма узагальненими факторами: диференціація механізованих робіт зернозбиральних комбайнів, якість проведення технічного обслуговування та діагностування, якість обкатки нового та відремонтованого зернозбирального комбайна, організація та якість ремонту, зберігання, заправка та якість паливно-мастильних матеріалів, характеристика комбайнера та 24 визначальними факторами. Певні довірчі інтервали, найбільш віддалені від середнього рівня узагальненого фактора точці з довірою ймовірністю 0,9, не перевищують 6%, що знаходиться в допустимих межах. Розроблено програму для розрахунку вагомості визначальних, узагальнених факторів та рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів.*

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

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.11>

**Постановка проблеми.** Природно-кліматичні умови, сезонність у виконанні механізованих робіт, значна вартість машинно-тракторного агрегату, дефіцит механізаторських кадрів, зниження технічної оснащеності зі скороченням обсягів виробництва АПК пред'являють особливі вимоги до ефективності експлуатації зернозбиральних комбайнів (Palamarchuk et al., 2021).

Тому правомірним стає дослідження, створені задля технічного переозброєння господарств (Nazarenko et al., 2021), а й підвищення ефективності використання зернозбиральних комбайнів з урахуванням природно-кліматичних умов, характеру виконання груп робіт і зажадав від ступеня виконання операцій із технічної експлуатації (Luo & Guo, 2013).

Експлуатаційна надійність зернозбиральних комбайнів, що визначає його основні техніко-економічні показники при виконанні сільськогосподарських операцій, залежать від умов їх функціонування (Kuzmich et al., 2021).

Умови функціонування техніки характеризуються номенклатурою сільськогосподарських робіт на плановий період, природно-кліматичними умовами, умовами технічної експлуатації та визначаються комплексним параметром – рівнем експлуатації зернозбиральних комбайнів (Forgó et al., 2021). Залежно від рівня експлуатації змінюватимуться показники використання зернозби-

ральних комбайнів (Rogovskii et al., 2019). У зв'язку з цим експлуатації техніки повинно проводитися в найбільш сприятливих умовах (Yata et al., 2018). Тому дослідження цих питань становить великий теоретичний та практичний інтерес.

Дослідниками мало вивчений питання розробки ефективних експлуатаційних заходів для реалізації потенційних можливостей техніки (Rogovskii et al., 2021b), виявлення та використання резервів заощадження трудових і матеріальних ресурсів під час проведення ремонтно-обслуговуючих робіт, дозволяють значною мірою знизити рівень витрат за утримання машинно-тракторного парку (Pinzi et al., 2016). Також застосування існуючої системи ремонтно-обслуговуючих впливів не забезпечують надійність функціонування виробничих процесів рослинництва через відсутність методів оптимізації міжремонтних напрацювань зернозбиральних комбайнів з урахуванням різноманіття мінливих факторів (Masek et al., 2017).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз робіт показав, що самохідні сільськогосподарські машини у господарствах використовуються не так на належному рівні та спостерігається тенденція подальшого зниження ефективності їх використання (Liu et al., 2021).

Стан зернозбиральних комбайнів в процесі його використання за призначенням та під впливом технічних, експлуатаційних факторів та факторів навколишнього середовища безперервно змінюється (Nazarenko et al., 2020). Зміна стану зернозбиральних комбайнів безпосередньо впливає на ефективність та надійність експлуатації техніки та відбивається на його техніко-економічних та експлуатаційних показниках (Rogovskii, 2019).

Підвищення ефективності та надійності експлуатації зернозбиральних комбайнів пов'язане із забезпеченням працездатності техніки протягом терміну служби та потребує визначення сукупності факторів впливу динамічних навантажень при виконанні технологічної операції (Viba & Lavendelis, 2006), технічної експлуатації (Rogovskii, 2020), ремонтно-обслуговуючих впливів, матеріально-технічної бази, кваліфікованих спеціалістів та нормативно-технічної документації (Zagurskiy et al., 2018).

Номенклатура сільськогосподарських робіт на плановий період з трудомісткості виконання (рисунок 1). Диференціація сільськогосподарських робіт зернозбиральних комбайнів це відсоток залучення ті чи інші групи робіт конкретного комбайна на плановий період, що визначається комплексним безрозмірним показником – рівнем диференціації сільськогосподарських робіт (Rogovskii et al., 2021a). Вагомості групи сільськогосподарської роботи це показник, що визначає ступінь впливу цієї групи робіт на витрату ресурсу агрегатів та систем зернозбиральних комбайнів (Rogovskii & Titova, 2021b).

Стан технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів у господарстві визначається рівнем факторів технічної експлуатації. Рівень факторів технічної експлуатації зернозбиральних комбайнів визначається узагальне-

ними та визначальними факторами. Стан узагальненого чинника залежить від рівня реалізації визначальних чинників (Novotny, 2016).

Природно-кліматичні умови визначаються рельєфом місцевості, кількістю опадів, середньою температурою повітря, видом та зв'язністю ґрунту (Rogovskii, 2019). Вони впливають на вагомість груп сільськогосподарських робіт, вагомість узагальнених та визначальних факторів, які, своєю чергою, визначають рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Комплексним безрозмірним показником, визначальним стан експлуатації зернозбиральних комбайнів, рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів. Теоретичний рівень експлуатації зернозбиральних комбайнів може змінюватися від 0 до 1, що відповідає станам експлуатації, при яких витрата ресурсу агрегатів зернозбиральних комбайнів буде максимальною або мінімальною (Hrynkiv et al., 2020).

Для уточнення переліку факторів та визначення їх вагомостей використовується, що застосовується в теорії кваліметрії, експертне опитування фахівців (Romanik et al., 2018).

При визначенні показника рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів найбільша складність полягає в кількісній оцінці факторів, оскільки кожен з них має свій фізичний зміст, розмірність. Більш раціональним способом отримання кількісних значень факторів є узагальнена функція бажаності Харрінгтона, який передбачає бальну систему оцінки стану факторів (Dubbin et al., 2017).

Аграрне виробництво, у частині рослинництва, характеризується збиранням врожаю сільськогосподарських культур, тобто. комплексом технологічних операцій із

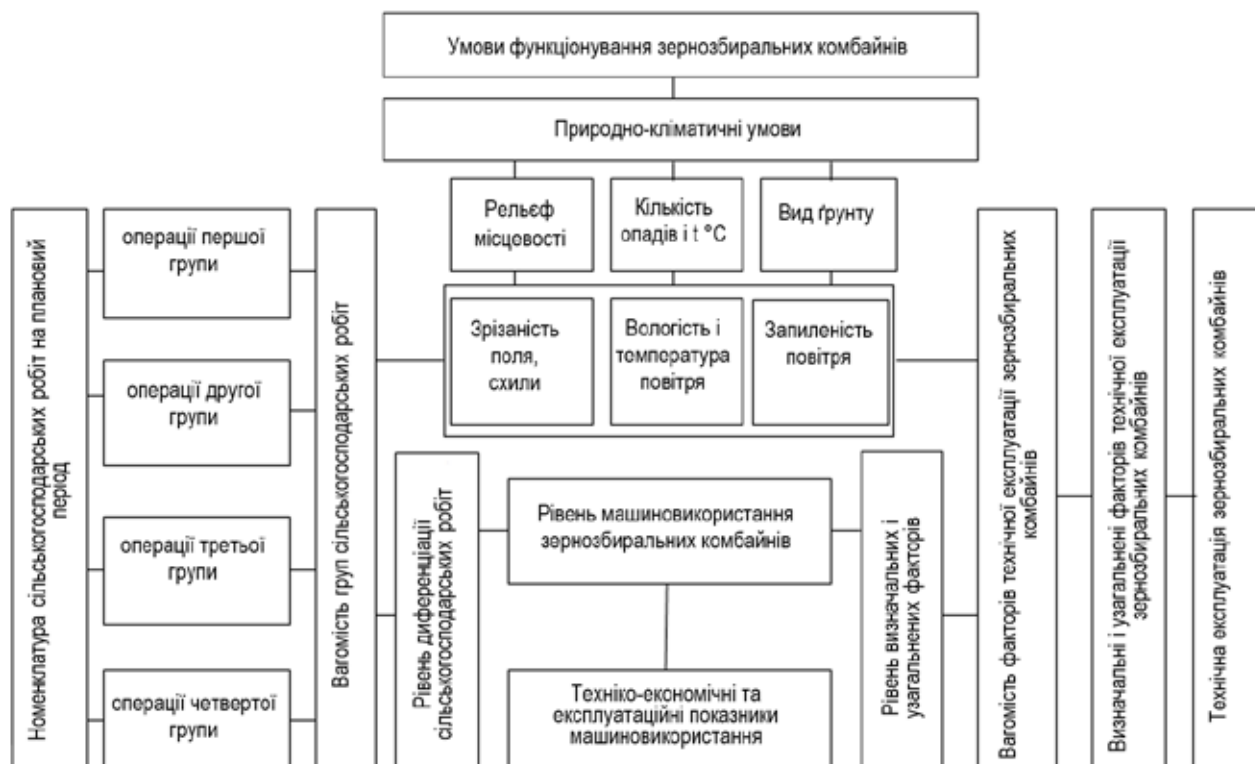


Рис. 1. Вплив рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів на показники їх використання та надійності

одержання готової продукції, пов'язані з використанням зернозбиральних комбайнів (Rogovskii, 2019).

При визначенні рівня диференціації сільськогосподарських робіт зернозбиральними комбайнами важливим моментом є оцінка їх вагомостей (Rogovskii et al., 2021b).

**Метою досліджень** є підвищення ефективності та надійності експлуатації зернозбиральних комбайнів з урахуванням диференціації сільськогосподарських робіт, умов їх виконання та стану технічної експлуатації.

**Результати досліджень.** Для визначення вагомості операцій, ми пропонуємо скористатися методом теорії математичної статистики, який полягає у проведенні регресійного аналізу результатів спостережень. При цьому величину вагомості показує – яка частка зносу посідає цю групу операцій. Підвищення рівня кожного узагальненого фактора технічної експлуатаціїється з допомогою підвищення рівнів визначальних чинників. Рациональною є послідовність підвищення рівнів факторів, що забезпечує найшвидше підвищення рівня кожної групи реалізації, а відповідно і рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Визначальні чинники у кожній групі мають у порядку зменшення коефіцієнта ефективності. Насамперед мають підвищуватися фактори, величини коефіцієнтів яких відповідають умові. Рівень узагальненого чинника диференціація сільськогосподарських робіт зернозбиральних комбайнів доцільно не підвищувати, а обґрунтувати. При цьому слід виходити з доцільності значення рівня диференціації сільськогосподарських робіт, який пов'язаний з інтенсивністю зменшення витрат на усунення відмов та простоїв. Умови функціонування впливають на інтенсивність витрати ресурсу та на техніко-економічні показники зернозбиральних комбайнів, через зниження витрат часу та коштів на усунення відмов та від простоїв, облік їх при оптимізації термінів ремонту та служби, має важливе значення.

Цільова функція для визначення оптимальних значень доремонтного, міжремонтного напрацювань та напрацювання до списання виглядають наступним чином:

$$S_w = \left( B_d - B_p + \sum_{i=1}^4 B_i \right) \cdot t_r^{-1} \rightarrow \min \quad (1)$$

де 1, 2, 3, 4 – відповідно витрати на технічне обслуговування, усунення наслідків від відмови, заміну агрегату та ремонт протягом доремонтного, міжремонтного періодів та періоду до списання, грн;  $t_r$  – відповідно доремонтна, міжремонтне напрацювання та напрацювання до списання;  $B_d$  – вартість нового агрегата, грн;  $B_p$  – залишкова вартість зернозбирального комбайна, грн.

Після перетворень, цільова функція набуде вигляду:

$$S_w = (B_d - B_p \cdot B_1 \cdot t_r + k \cdot [B_i + B_j \cdot t_r] \cdot \left[ \sum_{j=1}^j \frac{t_d}{t_j} + \frac{t_d \cdot \{t_d - t_{dj}\}}{t_{mj} \cdot t_j} + \sum_{j=1}^j \frac{t_m}{t_{mj}} + \frac{t_m \cdot \{t_m - t_{mj}\}}{t_{mj} \cdot t_{jk}} + \sum_{j=1}^j \frac{t_c}{t_{cj}} + \frac{t_c \cdot \{t_c - t_{cj}\}}{t_{cj} \cdot t_{jh}} \right] + \sum_{j=1}^j \{B_h \cdot n_h\} + B_w) \cdot t_r^{-1} \rightarrow \min \quad (2)$$

де  $B_i$  – витрати на усунення наслідківвідмов і-ої групи складності в ремонтних періодах, грн;  $B_j$  – втрати продукції через годинний простій зернозбирального комбайна через відмову, грн;  $t_d$  – тривалість простою через відмову в ремонтні періоди, грн;  $k$  – коефіцієнт, що враховує зниження витрат від відмов та простоїв у зв'язку з оптимізацією інтенсивності витрати ресурсу, що залежить від підвищення рівня експлуатації зернозбирального комбайна;  $t_j$  – напрацювання на відмову j-го агрегату в доремонтному періоді, мотогодин;  $t_{mj}$  – ресурс j-го обмінного агрегату в міжремонтному періоді, мотогодин;  $t_{jk}$  – ресурс j-го обмінного агрегату;  $B_h$  – витрати на заміну j-го агрегату, грн;  $n_h$  – кількість заміни j-го агрегату за міжремонтні періоди.

Для визначення оптимальних значень необхідно знайти похідні функції за цими параметрами, прирівняти їх до нуля та вирішити цю систему рівнянь.

Для уточнення переліку узагальнених та визначальних факторів, що характеризують умови функціонування техніки, було проведено експертне опитування. Результати експертного опитування та розрахункові показники представлені у таблиці 1. Межі довірчих інтервалів для значень найбільш віддалених від середнього значення з довірчою ймовірністю 0,90, величина довірчого інтеграла не перевищує 6% від значення рівня узагальненого фактора.

В результаті спільної математичної обробки показників використання зернозбиральних комбайнів рівня їх експлуатації, були отримані закономірності зміни річного напрацювання, витрати ресурсу, кількості відпрацьованих днів та змін, питомих витрат на усунення відмов у доремонтному та міжремонтному періодах, питомих витрат від простоїв залежно від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів.

Відхилення фактичного значення від розрахункового вирається у 9,8%. Загалом на практиці фактичні показники підтверджують вплив рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів у розмірах, встановлених розрахунковим шляхом.

Перевірка адекватності математичної моделі показав, що відхилення фактичних та розрахункових проміжних значень питомих витрат вирається у 9,6%.

**Обговорення.** Отримані закономірності зміни техніко-економічних та експлуатаційних показників зернозбиральних комбайнів залежно від рівня їх експлуатації дозволили виявити, при зміні рівня експлуатація зернозбиральних комбайнів у господарствах від 0,5 до 0,88 (Rogovskii & Titova, 2021c): збільшується – річне напрацювання на 12,3%; кількість відпрацьованих днів на 39%; змін на 42%; коефіцієнт готовності від 0,59 до 0,94, тобто, на 37%; коефіцієнт використання від 0,58 до 0,92, тобто, на 36,9%, а напрацювання відмови у 1,9 раза (Rogovskii et al., 2022); зменшується – питоми витрати на усунення відмов у ремонтному періоді на 76%, а після ремонту на 74%; витрати від простоїв від 33 до 6% (Rogovskii & Titova, 2021a).

Перевірка адекватності підтвердила вплив умов функціонування зернозбиральних комбайнів на техніко-економічні та експлуатаційні показники у розмірах, встановлених розрахунковим шляхом. Похибка передба-

чення вбирається у 11,8%. Розроблена програма визначення оптимальних видів залежностей за критерієм мінімуму залишкової дисперсії має валідність (Sergejeva et al., 2018).

**Висновки.** Встановлено, що розроблена математична модель оптимізації термінів ремонту та служби двигуна з урахуванням умов функціонування зернозбиральних комбайнів дозволила обґрунтувати терміни про-

ведення ремонтів та списання двигуна за критерієм мінімуму питомих витрат на експлуатацію. З підвищенням рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів від 0,5 до 1 оптимальні значення напрацювань підвищуються: до ремонту від 330 до 580 мотогодин; міжремонтне напрацювання від 583 до 826 мотогодин; до списання від 8642 до 14674 мотогодин. Перевірка адекватності математичної моделі за проміжними значеннями пито-

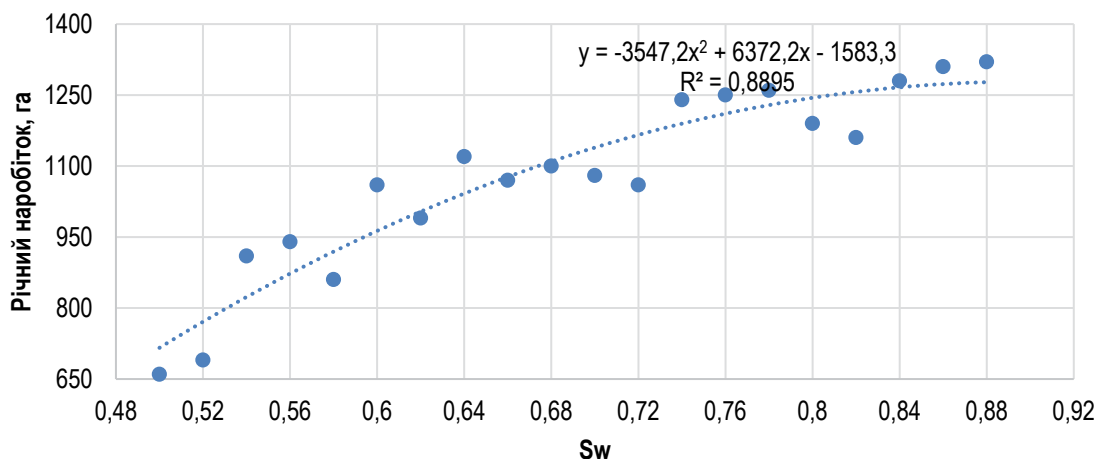


Рис. 2. Залежність річного напрацювання від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

Таблиця 1

Уточнений перелік факторів та їх вагомості

Найменування узагальненого фактора	Вагомості		Коефіцієнт варіації	Найменування визначального фактора	Вагомості		Коефіцієнт варіації
	розрахункова	експертна			розрахункова	експертна	
Диференціація механізованих робіт з зернозбиральних комбайнів	0,289	0,31	0,28	роботи 1-ої групи	0,459	0,43	0,19
				роботи 2-ої групи	0,339	0,32	0,24
				роботи 3-ї групи	0,191	0,18	0,25
				роботи 4-ої групи	0,011	0,07	0,31
Якість проведення ТО та діагностування	0,274	0,24	0,12	Склад фахівців для ТО та діагностування	0,201	0,19	0,19
				Наявність обладнання для ТО та діагностування	0,310	0,29	0,27
				Місце проведення ТО	0,477	0,45	0,32
				Дотримання термінів проведення ТО	0,012	0,07	0,21
Якість проведення обкатки нового та відремонтованого зернозбирального комбайна	0,099	0,18	0,20	Склад спеціалістів	0,361	0,34	0,28
				Дотримання правила обкатки	0,190	0,23	0,23
				Місце обкатки	0,449	0,43	0,11
Організація і якість ремонту	0,166	0,12	0,24	Місце ремонту	0,434	0,41	0,31
				Склад спеціалістів	0,180	0,17	0,25
				Наявність пересувних ремонтних засобів	0,238	0,28	0,24
				Якість виконання ремонтних робіт	0,148	0,14	0,18
Зберігання, заправка і якість паливно-мастильних матеріалів	0,093	0,08	0,35	Сортамент паливно-мастильних матеріалів	0,216	0,23	0,17
				Зберігання паливно-мастильних матеріалів	0,357	0,38	0,26
				Засіб заправки паливом	0,200	0,19	0,22
				Контроль якості паливно-мастильних матеріалів	0,126	0,13	0,12
				Фільтрування палива при заправці	0,101	0,07	0,23
Професійні особливості комбайнера	0,079	0,06	0,15	Стаж роботи	0,404	0,43	0,28
				Спеціальна освіта	0,339	0,32	0,33
				Клас комбайнера	0,126	0,13	0,15
				Ставлення до техніки	0,131	0,12	0,20

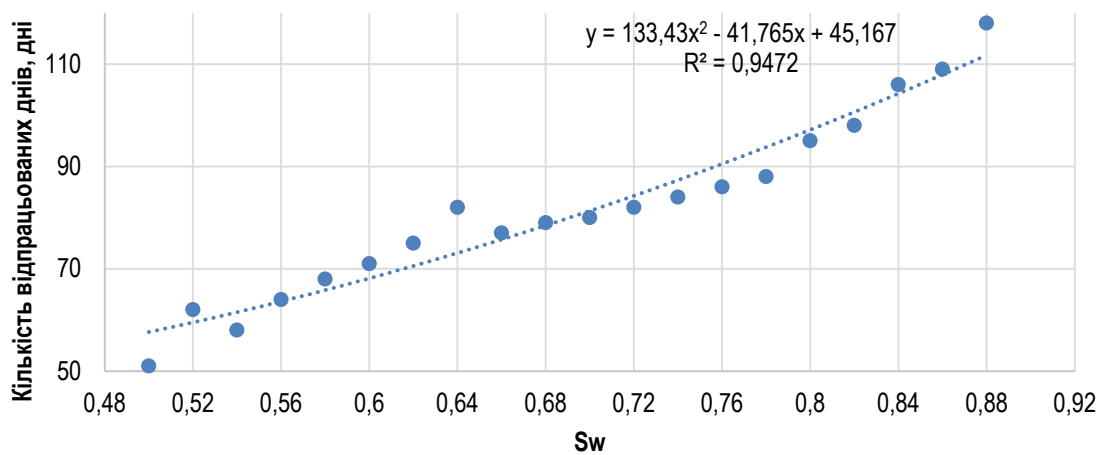


Рис. 3. Залежність кількості відпрацьованих днів від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

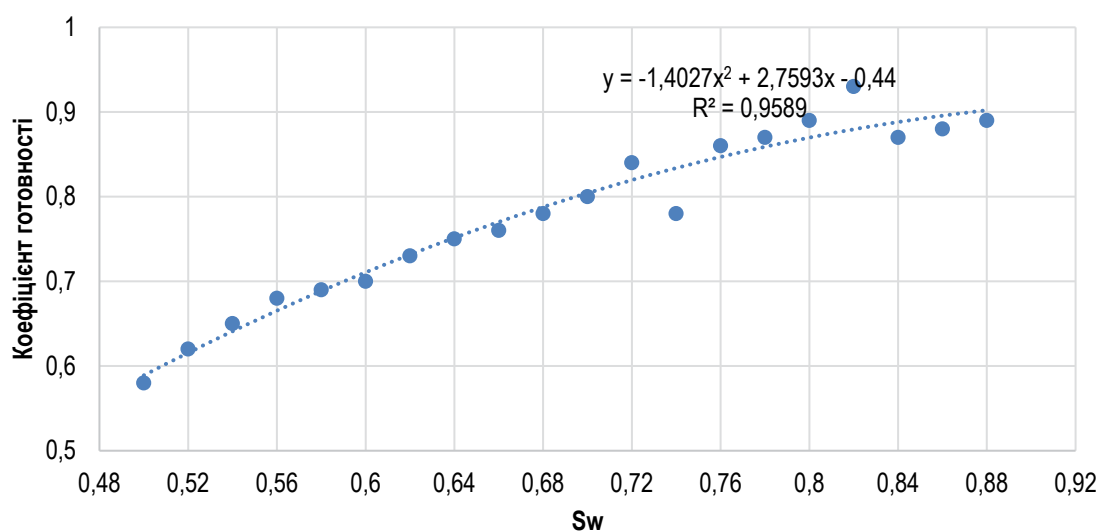


Рис. 4. Залежність коефіцієнта готовності рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

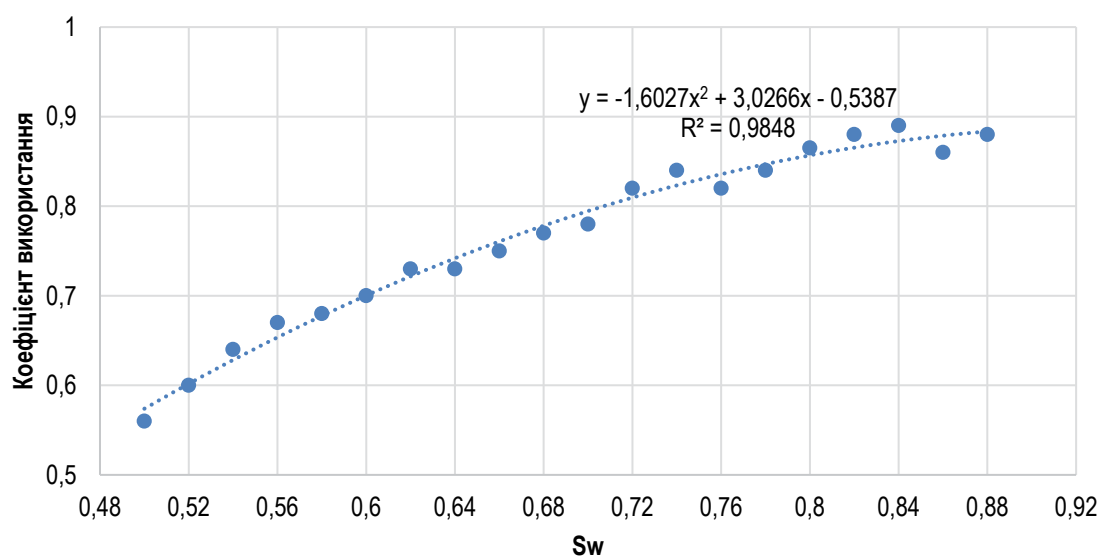


Рис. 5. Залежність коефіцієнта використання рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

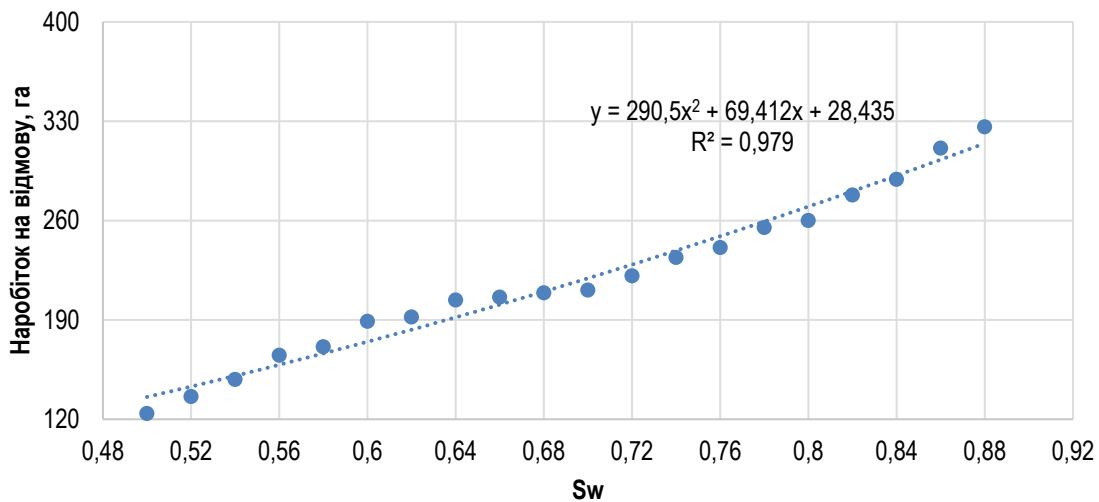


Рис. 6. Залежність наробіток на відмову агрегатів від рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів

мих витрат за експлуатацію, підтвердила адекватність математичної моделі реальним умовам експлуатації зернозбиральних комбайнів, у своїй відхилення фактичних значень від теоретичних вбирається у 9,6%.

Розроблені заходи щодо підвищення рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів, які полягає у підвищенні рівня фактора технічної експлуатації до оптимального значення 0,62 та рівня диференціації сільськогосподарських робіт по комбайнах до доцільного значення 0,24, дозволили визначити оптимальне значення рівня експлуатації зернозбиральних комбайнів – 0,86. Для цього запропоновано різні варіанти відсотків залучення зер-

нозбиральних комбайнів на різні групи робіт та обґрунтовано номенклатуру визначальних факторів щодо груп їх реалізації, яких необхідно підвищити до 1: «Фактори, підвищення яких залежить від проведення організаційних заходів» – 3, «Фактори, підвищення яких залежить від дисципліни праці» – 3, «Фактори, підвищення яких залежить від додаткових капіталовкладень» – 2, середня сума ефекту становить – 62,6%. Підвищення рівня експлуатації від середнього 0,67 до оптимального 0,86 слід здійснювати у два етапи. Перший етап проводиться без додаткових капітальних вкладень, у другому етапі передбачаються додаткові капітальні вкладення.

#### Бібліографічні посилання:

- 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.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- Luo, A. C. J. & Guo, Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag: 213.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- Palamarchuk, I., Rogogvskii, 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>.

12. 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.
13. 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>.
14. 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>.
15. 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>.
16. 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>.
17. Rogovskii, I. L., Titova, L. L. & Berezova, L. V. (2021a). 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>.
18. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadochiy, O. V. (2021b). 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>.
19. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskiy, 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>.
20. 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.
21. 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>.
22. 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>.
23. 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>.
24. 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.
25. Yata, V. K., Tiwari, B. C. & Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. *Environmental Chemistry Letters*, 16: 79–84.
26. 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.

**Nychay I. M.**, Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### **Simulation of level of machine utilization of grain harvesting combiners by network of functional mass service chains**

*In the article, the author presents the results of the substantiation of the main indicator of the decrease in the technical equipment of agricultural production and the reliability of the functioning of the equipment, which increases the problem of the efficiency of the operation of grain harvesters. The lack of methods for optimizing the repair and service of grain harvesters, taking into account the variety of variable factors, do not ensure sufficient reliability of their use.*

*The state of combine harvesters in the process of its intended use under the influence of operating conditions changes continuously. The conditions of operation of combine harvesters are determined by: the nomenclature of agricultural works for the planned period, the natural and climatic conditions and the conditions of technical operation of combine harvesters. The developed method of determining the level of operation of grain harvesters as a complex dimensionless indicator of the operating conditions allows to assess the state of operation of grain harvesters in a specific farm. The level of operation of combine harvesters is characterized by a list of generalized and determining factors that reflect the conditions of technical operation, the differentiation of agricultural work by combine harvesters for the planned period and have weights, the values of which depend on the degree of influence of natural and climatic conditions, the conditions of performance of work groups and technical operation operations on resource consumption of equipment units. It was established that the level of equipment operation is determined by six generalized factors: differentiation of mechanized work of combine harvesters, quality of maintenance and diagnostics, quality of running-in of new and repaired combine harvesters, organization and quality of repair, storage, refueling and quality of fuel and lubricants, combiner characteristics and 24 determining factors. Certain confidence intervals of the most distant point from the average level of the generalized factor with a confidence probability of 0.9 do not exceed 6%, which is within acceptable limits. A program has been developed for calculating the importance of determining, generalized factors and the level of operation of grain harvesters.*

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