АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Д. Ю. КАЛІНІЧЕНКО, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-3689-3467>

І. Л. РОГОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-6957-1616>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.06.027>

Анотація. Завдання дослідження полягало у визначенні аналітичного методу визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих значеннях поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролі.

Уточнення параметрів номінального і локального розрахункового залишкового ресурсу зернозбиральних комбайнів. Водночас враховується параметри навантаження за період експлуатації зернозбиральних комбайнів, включаючи температурні впливи і взаємодію із зовнішнім середовищем, зміну характеристик металу з причини старіння.

У статті параметри технічного контролю зернозбирального комбайна розкриті через технічну характеристику саме на стадії експлуатації, тобто коли технічному контролю підлягають конкретні існуючі комбайни. При цьому запропонований методичний підхід через індивідуальність оцінки залишкового ресурсу комбайна відкриває додаткові шляхи для отримання економічного ефекту.

Ключові слова: модель, адекватність, оптимізація, параметр, контроль, комбайн

Актуальність. При експлуатації зернозбиральних комбайнів відбувається старіння їх елементів, деталей, складальних одиниць, вузлів, механізмів і агрегатів в результаті різних механічних, теплових, електричних та інших фізико-хімічних процесів, а також під впливом зовнішніх і внутрішніх

навантажень різної природи [1]. Ці процеси і фактори викликають накопичення пошкоджень, розвиток дефектів, незворотні зміни властивостей конструкційних матеріалів і параметрів елементів зернозбиральних комбайнів і, як наслідок — поступове зниження їх функціональності, що в призводить

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

до їх відмов і, в кінці кінців, до граничного стану, після якого подальша експлуатація неможлива [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інженерний моніторинг за параметрами технічного стану комбайна [3] має проводитись у відповідності з програмою [4], яка розроблена на основі аналізу технічної документації і даних оперативного вимірювання [5], і містити наступні операції: візуальний (зовнішній і внутрішній) контроль [6]; вимірювання геометричних параметрів і товщини стінок пустотілих деталей [7]; вимірювання твердості і визначення механічних характеристик; металографічне дослідження основного металу і зварного з'єднання; визначення хімічного складу [8]; дефектоскопічний контроль (вид і об'єм, який встановлюється з врахуванням вимог повноти і достатності виявлення дефектів і пошкоджень) [9]; вимірювання на міцність, герметичність, жорсткість, пружність [10]. Результати аналізу параметрів технічного стану комбайна також мають бути додані до бази даних і оформленні у виді технічного заключення [11], з рішенням про можливість подальшої експлуатації за призначеним ресурсом [12]. Уточнення критеріїв граничного стану проводиться з

метою отримання додаткової інформації про рівень номінального і локального розрахункового залишкового ресурсу [13]. При цьому враховується режим і діючі навантаження за період експлуатації, включаючи температурні впливи і взаємодію із зовнішнім середовищем, зміну характеристик металу з причини старіння [14].

Мета дослідження. Наукове обґрунтування аналітичних підходів визначення параметрів технічного контролю зернозбиральних комбайнів із забезпеченням нормативного рівня технічної готовності зернозбирального комбайна.

Завдання дослідження полягало у визначенні аналітичного методу визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих значеннях поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролю.

Матеріали і методи дослідження. Сучасний рівень науково-технічного прогресу дозволяє створити зернозбиральний комбайн, який володіє високою технічною готовністю. Так на стадіях виготовлення і монтажу – ретельний

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

технічний контроль матеріалів і комплектуючих виробів, високий рівень організації і технічного контролю технологічних процесів, проміжні контрольні випробування окремих елементів, вузлів і агрегатів. Усунення прихованих дефектів на стадії припрацювання і обкатування, система технічного контролю, яка може включати комплекс вимірювальних і планово-

профілактичних заходів, які дозволяють знизити до мінімуму ймовірність виникнення відмов в процесі експлуатації зернозбирального комбайна. При цьому не вирішеною є актуальна проблема прогнозування і забезпечення контрольованості параметрів технічного стану зернозбирального комбайна (рис. 1).

Рис. 1. Схема визначення параметрів технічного стану комбайна

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

Таким чином (рис. 1), параметри технічного стану зернозбирального комбайна є важливою технічною характеристикою саме на стадії експлуатації, тобто коли технічному контролю підлягають конкретні існуючі комбайни. При цьому індивідуальність оцінки залишкового ресурсу комбайна відкривають додаткові шляхи для отримання економічного ефекту.

При оцінці залишкового ресурсу комбайна за визначальним параметром $X(t)$ найбільш розповсюдженою є загальновідома лінійна апроксимація:

$X(t) = X_0 + \gamma t$, де X_0 – початкове значення визначального параметра; γ – швидкість зміни параметра. У такому випадку оцінка повного T і залишкового τ ресурсів після технічного контролю при відомому значенні набуває рішення при $X = X_{гр}$ (X_k – допустиме значення визначального параметра): $T = \frac{X_{гр} - X_0}{\gamma}$, $\tau = \frac{X_{гр} - X_{доп}}{\gamma} = \frac{X_{гр} - (X_0 + \gamma T_k)}{\gamma}$. Однак в більш загальній формі деградаційні процеси старіння або зношення описуються поліноміальною залежністю (рис. 2).

Рис. 2. Графічні інтерпретації визначення параметра технічного стану зернозбиральних комбайнів

Результати дослідження та їх обговорення. Однак не зважаючи на рекомендоване застосування апроксимаційних залежностей (рис. 2) для зернозбиральних комбайнів в реальних умовах експлуатації монотонної залежності X від часу

(наробітку) t не спостерігається. По-перше, з причини розкиду властивостей конструкційних матеріалів і нестабільності технології виробництва елементів комбайна початкове значення визначального параметра X_0 є випадковою

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

величиною. Для X_0 досить часто необхідно застосовувати нормальний або усічений нормальний закон розподілу випадкової величини в межах поля допуску за трьома сігмами. По-друге, нестабільність і невизначеність умов експлуатації комбайна і навантажень часто призводить до випадкової характеристики швидкості зміни визначального параметра γ .

1. Моделі зміни визначальних параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

Елемент	X	Процес	Модель
Клапан силового циліндра підйому жниварки	Розмір ущільнення	Зміна стану і властивостей матеріалів під впливом повторних перемінних напружень	$\Delta X(t) = ct^n$
Торцеве ущільнення плунжерної пари паливного насоса	Величина зазору	Механічний абразивний знос	$\Delta X(t) = ct^n$
Вентиль перепускний гідростатики	Конусність	Контактна втома робочих поверхонь з утворенням мікротріщин	$\Delta X(t) = ct$
Вал приводу різального апарату жниварки	Зміна діаметра валу	Окислення поверхневих шарів і руйнування окисів	$\Delta X(t) = c_1t + c_2t^2$
Розподільчий пристрій гідросистеми відведення вивантажувального шнека	Величина потоку рідини	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct$
Гідро- і пневмоциліндри	Величина витoku рідини або газу	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct^n$
Гідромотор гідроприводу	Перепад тиску	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct^n$
Двигун внутрішнього згорання	Потужність	Зміна стану і властивостей поршневих кілець (відрив частинок гарячим газом)	$\Delta X(t) = c_1t + c_2t^2$
Похилий транспортер жниварки	Зусилля притиснення	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct^n$
Робоча поверхня соломотрясу	Величина зносу	Зношування і корозія матеріалу	$\Delta X(t) = ct$

Примітка: c , c_1 , c_2 – показники коефіцієнтів сталих при змінних функції; n – показник ступеня змінних функції.

У таблиці 1 зведені основні параметрів технічного стану моделі зміни визначальних зернозбиральних комбайнів, а рис. 3

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

формалізує опис закону розподілу ресурсу елемента $f(T)$, при якому в результаті пошкодження, зносу,

старіння, розрегулювання відбувається поступова зміна визначального параметра X .

а)

б)

Рис. 3. Формалізація опису закону розподілу ресурсу елемента $f(T)$, при якому в результаті пошкодження, зносу, старіння, розрегулювання відбувається поступова зміна визначального параметра X

Всі процеси (рис. 3) в момент технічного контролю T_k параметра технічного стану зернозбирального комбайна призводять до того, що визначальний параметр X_k сукупності елементів з розподілом $f(X_k)$ і, відповідно, розкид значень повного ресурсу з розподілом $f(T)$. Виконавши аналіз формалізації опису

$f(T)$ (рис. 3а) становиться очевидним, що до моменту T , яке отримано за детермінованим процесом і середнього ресурсу, граничний стан досягнуть половина з усієї сукупності елементів комбайна, а саме з ймовірністю 0,5. Тому така детермінована оцінка ресурсу може вважатись прийнятною тільки в тих

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

поодиноким випадкам, коли вихід до непрацездатного стану елемента комбайна не призводить до відмови самого комбайна.

При визначенні ресурсу за визначальним параметром технічного стану $X(t)$ зернозбирального комбайну (табл. 2) розглянемо залежність наступного виду: $X(t) = X_0 + \gamma t^n$, де t – в даному випадку є часовою характеристикою, а n – показник ступеня може набувати довільного значення з інтервалу $(1, 2)$, маємо: $X(t) = X_0 + \gamma t$ і $X(t) = X_0 + \gamma t^2$. В такому випадку оцінка повного T ресурсу при відомому значенні γ відбувається шляхом

вирішення при $X = X_{гр}$, а оцінка залишкового ресурсу при $X = X_{tk}$ (X_{tk} – значення визначального параметру технічного стану комбайна, отриманого в результаті технічного контролю).

Величина $X_{гр}$ визначається з умови міцності деталі комбайна, вимог нормативно-технічної документації або виході з фінансових і трудових ресурсів самого агропромислового підприємства. Для віднайдення функції визначального параметру $X(t)$ необхідно визначити сукупний закон розподілу $F(X)$ через його загальний випадок:

$$F(X) = P[(X_0, \gamma) \in D] = \int \int_{D(X \leq x)} f(X_0, \gamma) dX_0 d\gamma. \quad (1)$$

Отже, вираз (1) потребує вирішення двократного інтегралу. Для випадку, коли $X(t) = X_0 + \gamma t$

інтервал береться з області D , де $X_0 + \gamma t < x$, тому отримуємо конкретні межі інтегрування.

$$F(X) = \int \int_D f(X_0, \gamma) dX_0 d\gamma = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(X_0, \gamma) d\gamma \right] dX_0. \quad (2)$$

Щільність розподілу $f(X)$ отримаємо після диференціювання по x , який входить як параметр в верхню

межу інтеграла. Так як випадкові величини X_0 і γ незалежні і рівноправні, а саме:

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(X_0) f_2(X - X_0) dX_0, \quad (3)$$

або

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (X - \gamma) f_2(\gamma) d\gamma, \quad (4)$$

де f_1 і f_2 – відповідно, щільність розподілу аргументів і можливих значень аргументів від'ємні.

Приймаючи для них нормальний закон розподілу, отримаємо:

$$f(X_0) = \frac{1}{\sigma_{X_0} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(X_0 - \mu_{X_0})^2}{2\sigma_{X_0}^2} \right], \quad (5)$$

$$f(X_0) = \frac{1}{\sigma_{\gamma} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\gamma - \mu_{\gamma})^2}{2\sigma_{\gamma}^2} \right]. \quad (6)$$

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

Тоді закон розподілу випадкової величини X :

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_{X_0} \sigma_Y \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left[-\frac{(X_0 - \mu_{X_0})^2}{2\sigma_{X_0}^2} \right] \times \exp \left[-\frac{(X_0 - X - \mu_Y)^2}{2\sigma_Y^2} \right] dX_0, \quad (7)$$

Після проведення перетворення:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(X - \mu_X)^2}{2\sigma_X^2} \right], \quad (8)$$

де

$$\mu_X = \mu_{X_0} - t\mu_Y \text{ або } \mu_X = \mu_{X_0} - t^2\mu_Y, \quad (9)$$

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^2\sigma_Y^2} \text{ або } \sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^4\sigma_Y^2}, \quad (10)$$

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{X_0}^2 + t^2\sigma_Y^2)}\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(X - \{\mu_{X_0} - t\mu_Y\})^2}{2(\sigma_{X_0}^2 + t^2\sigma_Y^2)} \right], \quad (11)$$

або

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{X_0}^2 + t^4\sigma_Y^2)}\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(X - \{\mu_{X_0} - t^2\mu_Y\})^2}{2(\sigma_{X_0}^2 + t^4\sigma_Y^2)} \right]. \quad (12)$$

У подальшому необхідно визначити вид і функцію розподілу ресурсу. Так як висновок аналітичних залежностей передбачає певні ускладнення, має зміст вирішити дану

задачу в чисельному виді. Значення t , μ_{X_0} , μ_X , σ_{X_0} , σ_X відомі, застосовуємо вирази (11) і (12) визначаємо μ_Y і σ_Y :

$$\mu_Y = \frac{\mu_{X_0} - \mu_X}{t} \text{ або } \mu_Y = \frac{\mu_{X_0} - \mu_X}{t^2}, \quad (13)$$

$$\sigma_Y = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 + \sigma_X^2}}{t} \text{ або } \sigma_Y = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 + \sigma_X^2}}{t^2}. \quad (14)$$

Далі за допомогою генератора випадкових чисел програми MathCad15, за знайденими значеннями μ_Y і σ_Y отримано 1000 значень швидкості зміни визначального параметру технічного стану зернозбирального комбайна і за

віднайдено 1000 значень ресурсу. З використанням програми для перевірки гіпотези про закон розподілу за допомогою критерія Колмогорова. Функція розподілу добре апроксимується графіком функції нормального розподілу:

виразом $T = \frac{X_0 - X}{\gamma}$ або $T = \sqrt{\frac{X_0 - X}{\gamma}}$

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(T - \mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right]. \quad (15)$$

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

Далі за отриманими даними розподілу повного і залишкового визначались параметри функції ресурсу (табл. 3).

3. Параметри функцій розподілу повного і залишкового ресурсів зернозбирального комбайна

Залежність зміни визначального параметра технічного стану	μ_{tp}	σ_{tp}	μ_{tz}	σ_{tz}
Лінійна	39,76897	0,75629	29,1647	4,0263
Поліноміальна	33,95883	0,32247	29,013	2,006

Виходячи із функціональних готовності зернозбирального зв'язків між показниками технічної комбайна можна записати:

$$\lambda(t) = \frac{f(T)}{\int_t^\infty f(T) dt}. \quad (16)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов, умовна щільність ймовірності виникнення відмови комбайна, яка визначається для розглянутого моменту часу за умови, що до цього моменту відмова не виникне; $f(T)$ – щільність розподілу ресурсу.

$$\lambda(t) = \frac{\left\{ \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(T-\mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right] \right\}}{\left\{ \int_t^\infty \left(\frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(T-\mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right] \right) dt \right\}}. \quad (17)$$

Для вирішення інтеграла виконано заміну змінних:

$$\int_t^\infty f(T) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_t^\infty \exp \left[-\frac{(T-\mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right] dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\xi^\infty \exp(-x^2) dx, \quad (18)$$

де $x = \frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}}$, звідки $t = \sigma_t x \sqrt{2} + \mu_t$, $dt = \sqrt{2} \sigma_t dx$ і $\xi = \frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}}$.

Розкладаємо функцію (18) в ряди Тейлора, можна записати:

$$\exp(-x^2) = \sum_{n=0}^\infty \frac{(-x^2)^n}{n!} = \sum_{n=0}^\infty (-1)^n \frac{x^{2n}}{n!}. \quad (19)$$

Отримаємо:

$$\begin{aligned} \int_t^\infty f(T) dt &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\xi^\infty \exp(-x^2) dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\xi^\infty \sum_{n=0}^\infty (-1)^n \frac{x^{2n}}{n!} dx = \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^\infty \frac{(-1)^n \xi^{(2n+1)}}{n!(2n+1)}, \end{aligned} \quad (20)$$

або

$$\int_t^\infty f(T) dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^\infty \frac{(-1)^n \left(\frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}} \right)^{(2n+1)}}{n!(2n+1)}, \quad (21)$$

де n – кількість членів ряду, при $n=30$ похибка складає 10^{-6} .

Тоді вираз (17) прийме вид:

$$\lambda(t) = \frac{\left\{ \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp[-x^2] \right\}}{\left\{ \frac{(-1)^n \left(\frac{T - \mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}} \right)^{(2n+1)}}{n!(2n+1)} \right\}} \quad (22)$$

Для вирішення функції (22) написана програма, яка при заданих значеннях математичного очікування μ , середнього квадратичного

відхилення σ і ресурсу T , визначає значення інтенсивності відмови (табл. 4).

4. Параметри функцій залишкового ресурсу та інтенсивності відмов зернозбирального комбайна

Залежність зміни визначального параметра технічного стану	Залишковий ресурс T_z , год	Інтенсивність відмов, год ⁻¹
Лінійна	42	$3,68405 \cdot 10^{-4}$
Поліноміальна	35	$1,78 \cdot 10^{-3}$

Таким чином, розроблена аналітична модель (22) дозволяє знаходити інтенсивність відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролю.

Висновки і перспективи.

Розроблена аналітична модель (22) дозволяє знаходити інтенсивність відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролю.

Список використаних джерел

1. Bhogal A., Bentley C., Newell-Price J., Brian C. The alleviation of grassland compaction by mechanical soil loosening. BD5001: Characterization of Soil Structural Degradation Under Grassland and Development of Measures to Ameliorate its Impact on Biodiversity and Other Soil Functions. 2011, Report for Defra, London/UK.
2. Chen H., Shao L., Zhao M., Zhang X., Zhang D. Grassland conservation programs, vegetation rehabilitation and spatial dependency in Inner Mongolia, China. Land Use Policy, 2017, vol. 64, ISSN 0264-8377, pp. 429-439, Elsevier B.V., England / UK.

3. Diabate B., Wang X., Gao Y., Yu P., Wu Z., Zhou D., Yang H. Tillage and haymaking practices speed up belowground net productivity restoration in the degraded Songnen grassland. Soil and Tillage Research, 2018, vol. 175, ISSN 0167-1987, pp. 62-70, Elsevier B.V., Amsterdam/Netherlands;

4. He Changbin, Wang Decheng, Wang Guanghui, You Yong, Liang Fang, Liu Liangdong, Shao Changyong. The Development of Grassland Mechanical Restoration Technology Research. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, vol. 37(06), ISSN 1003-188X, pp. 258-263, Heilongjiang Provincial Society for Agricultural machinery, Heilongjiang/China;

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

5. *Pisarenko Georgiy, Voinalovych Oleksandr, Rogovskii Ivan, Motrich Myhailo.* Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N248. Scopus.

6. *Aulin V., Hryniv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/6 (97). P. 6-12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150>. Scopus.

7. *Ramirez P. B., Calderón F. J., Fonte S. J.* Environmental controls and long-term changes on carbon stocks under agricultural lands. Soil and Tillage Research, 2019, vol. 186, ISSN 0167-1987, pp. 310-321, Elsevier B.V., Amsterdam/Netherlands.

8. *Sawtschuk J., Gallet S., Bioref F.* Evaluation of the most common engineering methods for maritime cliff-top vegetation restoration. Ecological Engineering, 2012, vol. 45, ISSN 0925-8574, pp. 45-54.

9. *You Yong, He Changbin, Wang Decheng, Wang Guanghui.* Interaction Relationship between Soil and Very Narrow Tine during Penetration Process. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, vol. 48(06), ISSN 1000-1298, pp. 50-58, Chinese Society for Agricultural Machinery, Beijing/China.

10. *Patel S. R., Varshney B. P.* Modeling of wheat crop harvesting losses, Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2016, Issue 16(2), pp. 97-102, Paris/France.

11. *Chen W., Zhao L., Tan D.* Human-machine shared control for lane departure assistance based on hybrid system theory. Control Engineering Practice, 2019, vol. 84, pp. 399-407.

12. *Wang Fengyun, Zheng Jiye, Tang Yan, Liu Yanzhong, Li Qiaoyu, Mu Yuanjie, Wang Lei.* Analysis on application and research progress of machine vision in agriculture in China, Shandong Agricultural Sciences, 2016, vol. 48, pp. 139-144.

13. *Xiong Bin, Zhang Junxiong, Qu Feng, Fan Zhiqi, Wang Dashuai, Li Wei.* Navigation Control System for Orchard spraying Machine Based on BeiDou Navigation Satellite System. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, vol. 48, pp. 45-50.

14. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor.* Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

References

1. *Bhogal A., Bentley C., Newell-Price J., Brian C.* (2011). The alleviation of grassland compaction by mechanical soil loosening. BD5001: Characterization of Soil Structural Degradation Under Grassland and Development of Measures to Ameliorate its Impact on Biodiversity and Other Soil Functions. Report for Defra, London/UK.

2. *Chen H., Shao L., Zhao M., Zhang X., Zhang D.* (2017). Grassland conservation programs, vegetation rehabilitation and spatial dependency in Inner Mongolia, China. Land Use Policy, vol. 64, ISSN 0264-8377, pp. 429-439, Elsevier B.V., England / UK.

3. *Diabate B., Wang X., Gao Y., Yu P., Wu Z., Zhou D., Yang H.* (2018). Tillage and haymaking practices speed up belowground net productivity restoration in the degraded Songnen grassland. Soil and Tillage Research, vol. 175, ISSN 0167-1987, pp. 62-70, Elsevier B.V., Amsterdam/Netherlands;

4. *He Changbin, Wang Decheng, Wang Guanghui, You Yong, Liang Fang, Liu Liangdong, Shao Changyong.* (2015). The Development of Grassland Mechanical

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

Restoration Technology Research. Journal of Agricultural Mechanization Research, vol. 37(06), ISSN 1003-188X, pp. 258-263, Heilongjiang Provincial Society for Agricultural machinery, Heilongjiang/China;

5. *Pisarenko Georgiy, Voinalovych Oleksandr, Rogovskii Ivan, Motrich Myhailo.* (2019). Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N248. Scopus.

6. *Aulin V., Hryniv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T.* (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1. № 1/6 (97). P. 6-12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156150>. Scopus.

7. *Ramirez P. B., Calderón F. J., Fonte S. J.* (2019). Environmental controls and long-term changes on carbon stocks under agricultural lands. Soil and Tillage Research, vol.186, ISSN 0167-1987, pp. 310-321, Elsevier B.V., Amsterdam/Netherlands.

8. *Sawtschuk J., Gallet S., Bioref F.* (2012). Evaluation of the most common engineering methods for maritime cliff-top vegetation restoration. Ecological Engineering, vol. 45, ISSN 0925-8574, pp. 45-54.

9. *You Yong, He Changbin, Wang Decheng, Wang Guanghui.* (2017). Interaction

Relationship between Soil and Very Narrow Tine during Penetration Process. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, vol. 48(06), ISSN 1000-1298, pp. 50-58, Chinese Society for Agricultural Machinery, Beijing/China.

10. *Patel S.R., Varshney B.P.* (2016). Modeling of wheat crop harvesting losses, Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Issue 16(2), pp. 97-102, Paris/France.

11. *Chen W., Zhao L., Tan D.* (2019). Human-machine shared control for lane departure assistance based on hybrid system theory. Control Engineering Practice, vol. 84, pp. 399-407.

12. *Wang Fengyun, Zheng Jiye, Tang Yan, Liu Yanzhong, Li Qiaoyu, Mu Yuanjie, Wang Lei.* (2016). Analysis on application and research progress of machine vision in agriculture in China, Shandong Agricultural Sciences, vol. 48, pp. 139-144.

13. *Xiong Bin, Zhang Junxiong, Qu Feng, Fan Zhiqi, Wang Dashuai, Li Wei.* (2017). Navigation Control System for Orchard spraying Machine Based on BeiDou Navigation Satellite System. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, vol. 48, pp. 45-50.

14. *Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor.* (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291-298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.

Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО
КОНТРОЛЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ****Д. Ю. Калиниченко, И. Л. Роговский**

Аннотация. Задача исследования заключалась в определении аналитического метода определения оптимальной периодичности технического контроля зерноуборочных комбайнов при заданных значениях текущего момента эксплуатации и определять вероятность нахождения параметра технического состояния зерноуборочного комбайна в одном из трех состояний: работоспособном, отказе или техническом контроле.

Уточнение параметров номинального и локального расчетного остаточного ресурса зерноуборочных комбайнов. При этом учитывается параметры нагрузки за период эксплуатации зерноуборочных комбайнов, включая температурные воздействия и взаимодействие с внешней средой, изменение характеристик металла по причине старения.

В статье параметры технического контроля зерноуборочного комбайна раскрыты через техническую характеристику именно на стадии эксплуатации, то есть когда техническому контролю подлежат конкретные существующие комбайны. При этом предложенный методический подход через индивидуальность оценки остаточного ресурса комбайна открыл дополнительные пути для получения экономического эффекта.

Ключевые слова: модель, адекватность, оптимизация, параметр, контроль, комбайн

**ANALYTICAL MODEL OF PARAMETERS TECHNICAL CONTROL
OF GRAIN HARVESTER COMBINES****D. Yu. Kalinichenko, I. L. Rogovskii**

Abstract. The objective of the study was to determine the analytical method to determine the optimal frequency of technical control of combine harvesters for given values of the current point of operation and to determine the probability of finding the parameter of the technical state of combine harvester in one of three States: working, failure, or technical control.

Clarification of the parameters of the nominal and the estimated residual local resource harvesters. This takes into account the load parameters during the operation of combine harvesters including thermal effects and interaction with the external environment, changing the characteristics of the metal due to aging.

In the article the parameters of technical control of a combine harvester are disclosed through technical description at the stage of operation, that is, when the technical control is subject to specific existing harvesters. Thus, the proposed methodological approach using personality assessments of the residual resource of the combine opened additional ways to gain economic benefits.

Key words: model, adequacy, optimization, parameter, control, combine